

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta stavebná
Katedra geotechniky a podzemního stavitel'stva



Stochastické vyhodnotenie stability svahu
Stochastic assessment of slope stability

Vypracoval:
Vedúci práce:

Martin Kultán
doc. RNDr. Eva Hruběšová, Ph.D

Ostrava 2018

Zadání bakalářské práce

Student: **Martin Kultan**
Studijní program: B3607 Stavební inženýrství
Studijní obor: 3647R017 Geotechnika
Téma: Stochastické vyhodnocení stability svahu
Stochastic Assessment of Slope Stability
Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

1. Úvod
2. Charakteristika metod mezní rovnováhy pro stanovení stupně stability svahu
3. Účel a podstata stochastického modelování, přehled základních stochastických metod
4. Aplikace stochastické metody Latin Hypercube Sampling na řešení stability svahu
5. Závěrečné vyhodnocení výsledků

Seznam doporučené odborné literatury:

1. Šimek, J., Jesenák, J. *Mechanika zemin*. SNTL. Praha 1990.
2. Hulla, J., Turček, P. *Zakladanie stavieb*. Jaga. Bratislava 1998. ISBN 80-88905-05-2.
3. Hruběšová, E., Aldorf, J., Ďuriš, L., Svoboda, J. 2003. Pravděpodobnostní přístup ke statickému a stabilitnímu řešení ostění tunelu Valík, In *Sborník konference Podzemní stavby Praha 2003*. pp. 131- 138.
4. Nathanail, C.P., Rosenbaum, M.S. Probabilistic slope stability assessment using Latin Hypercube sampling. In *Proc. 7 th ISRM Congress on Rock Mechanics, 1991*. p. 929-933

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **doc. RNDr. Eva Hruběšová, Ph.D.**

Datum zadání: 31.10.2017

Datum odevzdání: 04.05.2018



doc. RNDr. Eva Hruběšová, Ph.D.
vedoucí katedry



prof. Ing. Radim Čajka, CSc.
děkan fakulty

Prehlásenie študenta

Prehlasujem, že som celú bakalársku prácu, vrátane príloh vypracoval samostatne pod vedením vedúcej bakalárskej práce a uviedol som všetky použité podklady a literatúru

V Ostrave

.....

podpis študenta

Prehlasujem že

- Som bol zoznámený s tým, že na moju bakalársku prácu sa plne vzťahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, predovšetkým §35 – užitie diela v rámci občianskych a náboženských obradov, v rámci školských predstavení a užití diela školského a §60 – školské dielo.
- Beriem na vedomie, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (ďalej len VŠB – TUO) má právo pre svoju vnútornú potrebu bakalársku prácu použiť (§35 odst.3)
- Súhlasím s tým, že jedna tlač bakalárskej práce bude uložená v Ústrednej knihovne VŠB – TUO k prezenčnému nahliadnutiu. Súhlasím s tým, že údaje o bakalárskej práci budú zverejnené v informačnom systéme VŠB – TUO.
- Bolo zjednané že s VŠB – TUO, v prípade záujmu z jej strany, uzavriem licenčnú zmluvu s oprávnením použiť dielo v rozsahu §12 odst.4 autorského zákona.
- Bolo zjednané , že použiť svoje dielo – bakalársku prácu, alebo poskytnutie licencie k jej využitiu môžu len zo súhlasom VŠB – TUO, ktorá je oprávnená v takomto prípade odo mňa požadovať primeraný príspevok na úhradu nákladov, ktoré boli VŠB – TUO na vytvorenie diela vynaložené (až do ich skutočnej výšky).
- Beriem na vedomie, že odovzdaním svojej práce súhlasím so zverejnením svojej práce podľa zákona č. 11/1998 Sb., o vysokých školách a o zmene a doplnení ďalších zákonov (zákon o vysokých školách), v znení neskorších predpisov, bez ohľadu na výsledok jej obhajoby.

V Ostrave

Pod'akovanie

Chcel by som sa pod'akovať vedúcej bakalárskej práce doc. RNDr. Eve Hrubešovej, Ph.D za jej čas a rady poskytnuté na konzultáciách pri riešení problematiky.

Anotácia

Bakalárska práca sa zapodieva vyhodnotením stupňa stability pomocou metódy Latin Hypercube Sampling. Hneď na úvod sa zameriava na svahové pohyby, deformácie a ich nepodmienečné faktory. Súčasťou je aj inžiniersko-geologický prieskum svahových deformácií. V ďalšej časti práce sa venuje určeniu stupňa stability svahu pre nesúdržné a súdržné zeminy, vrátane podrobného popisu metód medznej rovnováhy pre určenie stupňa stability svahu. Poslednou časťou bakalárskej práce je príklad výpočtu stupňa stability svahu pomocou metódy Latin Hypercube Sampling.

Kľúčové slová

Stabilita svahu, metódy výpočtu stupňa stability svahu, metóda Latin Hypercube Sampling

Anotation

Bachelor thesis deals with the evaluation of the slope stability using Latin Hypercube method. At the start It focuses on slope movements, deformations and their unconditional factors. The engineering geological survey of slope deformations is also a one part. In the next part It determinates the degree of slope stability for unsustainable soil and cohesive soil, including a detailed description of the limit equilibrium methods for determination the degree of slope stability. The last part of the bachelor thesis is an example of calculation the degree of the slope stability using Latin Hypercube Sampling method.

Key words

Slope stability, the degree of the slope stability by calculation methods, Latin Hypercube Sampling method

Obsah

1. Úvod	9
2. Svahové pohyby a deformácie	10
2.1. Rozdelenie svahových pohybov	10
2.2. Klasifikácia zosuvu podľa tvaru a priebehu šmykových plôch	12
2.3. Faktory podmieňujúce svahové pohyby	13
2.3.1. Morfológické pomery	13
2.3.2. Geologická stavba	13
2.3.3. Fyzikálne faktory	13
2.3.4. Antropogénne faktory	14
2.4. Inžiniersko-geologický prieskum svahových deformácií	15
2.4.1. Orientačný prieskum	16
2.4.2. Predbežný prieskum	16
2.4.3. Podrobný prieskum	16
2.4.4. Doplnkový prieskum	17
3. Zásady riešenia stability svahu	18
3.1. Stabilita svahov v nesúdržných zeminách	19
3.2. Metódy medznej rovnováhy pre určenie stupňa stability svahu	21
3.2.1. Metóda Pettersonova (prúžková)	21
3.2.2. Metóda Bishopova	23
3.2.3. Spencerova metóda	23
3.2.4. Janbuova metóda	26
3.2.5. Morgenstern-Price metóda	27
3.2.6. Sarmova metóda	28
3.2.7. Sachuňancova metóda	29
3.2.8. Metóda ITF	31
3.3. Stabilita skalných stien	32

4. Stochastické a matematické modelovanie	32
4.1. Metódy matematického modelovania.....	32
4.1.1. Metóda konečných prvkov MKP	33
4.1.2. Metóda Hraničných prvkov MHP	33
4.1.3. Metóda oddelených prvkov MOP	33
4.2. Metódy Stochastického modelovania	33
4.2.1. Metóda Monte Carlo	33
4.2.2. Metóda Latin Hypercube Sampling	34
4.3. Podstata metódy Latin Hypercube Sampling	34
5. Aplikácia stochastickej metódy Latin HyperCube sampling	36
5.1. Vstupné parametre modelu svahu.....	36
5.2. Generovanie vstupných parametrov	37
5.3. Výpočet stupňa stability	38
5.4. Zhodnotenie výsledkov.....	41
6. Záver.....	43
7. Zoznam tabuliek, obrázkov a grafov	44
8. Literatúra	45
9. Zoznam príloh	46

1. Úvod

Stabilita svahov je jedna z najčastejších aplikačných metód, ktorou sa zaoberá geotechnika v rámci riešenia líniových stavieb. S problémom stability svahov sa stretávame v prírodných svahoch ale aj na antropogénnych, vytvorených človekom. Pri porušení stability svahu dochádza k deformáciám, zosuvom, ktoré sú spôsobené porušením rovnováhy v zemine. K zosuvom môže dôjsť u prirodzených svahoch, ale aj pri antropogénnych vytvorených človekom ako napríklad násypy dopravných komunikácií, zemné hrádze atď. V niektorých častiach sveta sú zosuvy len ojedinelé, no na iných miestach môžu byť veľmi veľkého rozsahu. Zosuvy prebiehajú počas dlhého obdobia, no taktiež môže k nim dôjsť behom pár sekúnd. Je potrebné starostlivo sledovať tieto deje a prípade rizika navrhnúť čo najefektívnejšie a najekonomickejšie riešenie.

Úlohou zabezpečenia svahu je predísť škodám spôsobených na majetku, ochrane osôb a prípadne prírodným katastrofám. Napríklad tohto roku v Japonsku na Ostrove Kjušú došlo k rozsiahlemu zosuvu pôdy, ktorý si vyžiadal 4 zničené domy a 6 osôb je nezvestných.

Cieľom bakalárskej práce je bližšie rozvinúť metódy výpočtu stability svahov a samotný výpočet stability stochastickou metódou. V úvodnej časti sa práca zaoberá svahovými deformáciami a zosuvmi, ich ovplyvňujúcimi faktormi a inžiniersko-geologickým prieskumom deformácii. V ďalšej časti podrobnejšie popisuje výpočet stability svahu a podmienky rovnováhy pre jednotlivé typy svahov, či už pre súdržné alebo nesúdržné zeminy. V rámci súdržných zemín bližšie popisuje metódy medznej rovnováhy. V poslednej časti je pomocou jednej z týchto metód, konkrétne sa jedná o Pettersonovu metódu, stochasticky vypočítaná stabilita svahu s určitou pravdepodobnosťou. Výpočet je prevedený v programe GEO 5 a predchádza mu vygenerovanie vstupných údajov z predpripraveného modulu GLHS v programe Excel.

2. Svahové pohyby a deformácie

Svahovými pohybmi sa vo všeobecnom slova zmysle rozumie ako premiestňovaniu pevných častí, hornín, z vyššie položených polôh svahu do nižšie položených polôh. K tomuto pohybu dochádza vplyvom gravitácie a to bez ohľadu na rýchlosť pohybu, alebo pôsobením vody. Svahové deformácie sú výsledkom pomeru účinku aktívnych síl (gravitácie, hydrodynamický tlak) nad silami pasívnymi, ktoré bránia pohybu (pevnosť hornín, trenie).

2.1. Rozdelenie svahových pohybov

Svahové pohyby delíme podľa mechanizmu a rýchlosti pohybu na 4 skupiny:

•Plazenie

Plazenie je z geologického hľadiska dlhodobý a pomalý proces, približne cm za rok charakteru plastického tečenia hmôt. Plazenie rozoznávame hlbinné a povrchové. Povrchové plazenie je pomalý, zvyčajne nerovnomerný pohyb horninovej hmoty v povrchovej zóne, kde pôsobí vplyv klimatických zmien ročných období. Tento proces je dôsledkom zmeny pevnosti a objemu hornín. Hlbinné plazenie má za výsledok blokové poruchy, rozvoľnenie a roztrhanie horských masívov. [2]

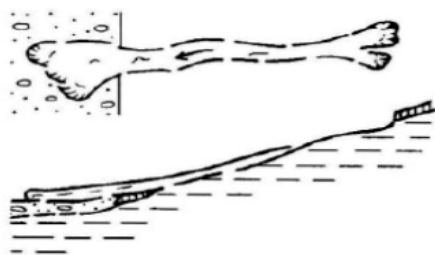
• Zosúvanie

Zosúvanie je relatívne rýchlo krátkodobý kĺzavý pohyb horninovej hmoty po svahu, po jednej alebo viacerých šmykových plochách o rýchlosti v metroch za deň. Výslednou deformáciou je zosuv, ktorého spodná časť sa nasunie na pôvodný terén a vytvorí tzv. čelo zosuvu. Zosuvy patria k najčastejším svahovým pohybom v ČR. Zosuvy sa ďalej podrobnejšie delia z hľadiska plošného tvaru a tvaru šmykovej plochy. [2]

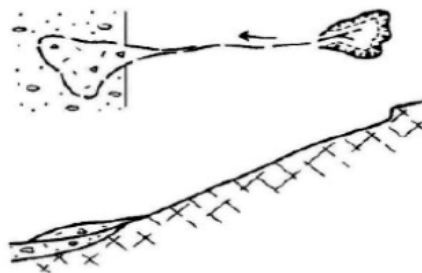
• Stekanie

Stekanie je krátkodobý pohyb hmôt vo viskóznom stave, približne v metroch až kilometroch za hodinu. Vzniká prúd, ktorý premiestňuje hmotu na pomerne veľkú vzdialenosť. Stekanie prebieha väčšinou v ílovitých horninách pri väčšej vlhkosti. Taktiež dochádza k stekaniu u suchých nesúdržných zeminách a to napr. vplyvom vibrácií. Formou stekania, ktorá je ovplyvnená zrnitým zložením sú zemné a kamenité prúdy.

Na strmých svahoch môže dochádzať k stekaniu vplyvom atmosférických zrážok. Tzv. zemné prúdy vznikajú v miestach sústreďeného toku povrchovej, alebo podzemnej vody. [2]



Zemné prúdy



Kamenité prúdy

Obrázok 1 Stekanie [8]

• Rúcanie

Rúcanie je veľmi rýchli a krátkodobý pohyb, približne v metroch za sekundu, pri ktorom sa uplatňuje voľný pád. Horninová hmota sa rozvoľní, stráca kontakt s podložíom a hromadí sa u päty svahu.

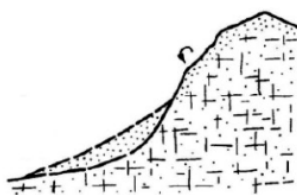
Rozlišujeme tieto typy rúcania:

Zosypávanie - vzniká premiestňovaním drobných úlomkov hornín váľaním po svahu

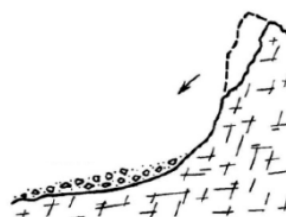
Odpadávanie úlomkov – vzniká premiestňovaním úlomkov hornín voľným pádom.

Odvalové rúcanie – vzniká odvalením materiálu na strmých skalných stenách.

Planárne rúcanie - vzniká premiestnením skalných stien klzavým pohybom. [2]



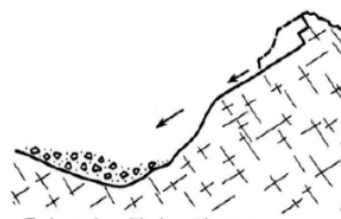
Zosypávanie



Odpadávanie úlomkov



Odvalové rúcanie



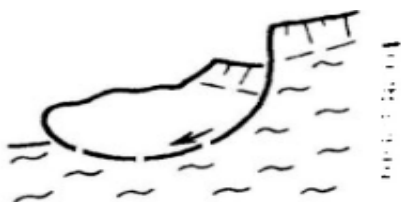
Planárne rúcanie

Obrázok 2 - Typy rúcania [8]

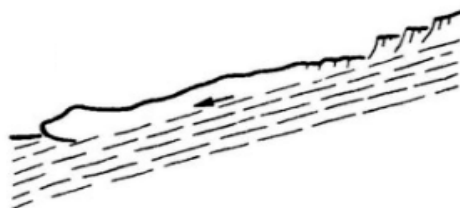
2.2. Klasifikácia zosuvu podľa tvaru a priebehu šmykových plôch

Rozdelenie zosuvu podľa tvaru šmykových plôch:

- Rotačné – ich šmyková plocha ma tvar valca
- Planárne – ich šmyková plocha ma rovinný tvar
- Rotačné planárne – zosuv je pozdĺž šmykovej plochy
- Translačné – zosuv je prevažne po horizontálnej ploche [2]



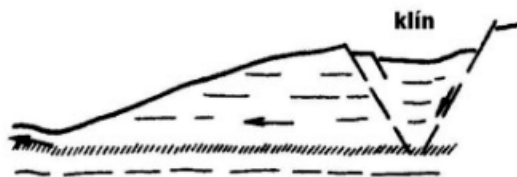
Pozdĺž šmykovej plochy



Pozdĺž planárnej šmykovej plochy



Rotačne planárny zosuv



Translačný zosuv

Obrázok 3 Typy zosuvov podľa tvaru šmykových plôch [8]

Rozdelenie podľa priebehu šmykových plôch:

- Asekventé – pohyb hmôt sa deje pozdĺž valcových šmykových plochách.
- Konsekventné – pozdĺž predisponovaných plôch rovnobežných zo svahom.
- Insekventné – zosuvy so šmykovými plochami prebiehajúcimi naprieč vrstvami. [2]

2.3. Faktory podmieňujúce svahové pohyby

Podstatou riešenia problematiky nestabilných svahov sú činitele ktoré spôsobujú nestabilitu. Faktory, ktoré predstavujú prírodné procesy, ale taktiež aj umelé zásahy do ustáleného vývoja svahu.

Veľmi významným faktorom, ktorý zvyšuje riziko svahových pohybov je sklon svahu. Z hľadiska pôsobenia a doby trvania sa delia na permanentné (dlhodobé) a epizodické (krátkodobé). [4]

Činitele podmieňujúce vznik svahových pohybov:

2.3.1. Morfologické pomery

Zmena výšky a sklonu svahu

Predstavuje jeden z hlavných faktorov spôsobujúcich vznik zosuvných pohybov. Častou príčinou zmeny sklonu býva odnos materiálu z paty svahu, napr. vplyvom fluválnej erózie. Vzrast sklonu svahu je spôsobuje v horninách zmenu napätia pričom rovnováha býva porušená vzrastom napätia v šmyku. [4]

2.3.2. Geologická stavba

Geologicko-tektonická stavba ovplyvňuje geomorfologické a hydrogeologické pomery daného svahu a tým pádom môže byť podmienkou vzniku zosuvu. Na vysokých svahoch vzniká početné množstvo svahových pohybov v dôsledku tektonického porušenia. Oslabenou zónou môžu byť systémy puklín a foliačné plochy. [4]

2.3.3. Fyzikálne faktory

Patria tu predovšetkým:

- Klimatické pomery
- Pôsobenie podzemnej vody
- Zvetrávanie
- Vulkanické erupcie
- Zemetrasenie

Klimatické pomery

Vplyvom klimatických pomerov, konkrétne dažďovej vody a topiaceho sa snehu dochádza k nárastu tiaže zvodnej vrstvy. Taktiež dochádza k dočasnému zvýšeniu pórového tlaku a tým pádom aj k zníženiu šmykovej pevnosti. Mrznutím sa zväčšuje objem vody v trhlínach, rozširujú sa a vytvárajú nové procesy, ktoré ovplyvňujú teplotu vzduchu rozhodujú o tom aké množstvo zrážok sa dostane do horninového prostredia. Napr. ílovité zeminy sa v období sucha zmršťujú a vysychajú. [4],[8]

Pôsobenie Podzemnej vody

Prúdenie podzemnej vody pôsobí tlakom na častice zeminy, aktívna sila, ktorá zhoršuje stabilitu svahu. V jemnom piesku vyplavuje častice zeminy zo svahu. Taktiež môže vyplaviť rozpustný tmel, ktorým sa zoslabuje intergranulárna väzba a znižuje smyková pevnosť. Stabilita svahu sa taktiež zhoršuje, keď napätá hladina podzemnej vody pôsobí na nepriepustné vrstvy v nadloží vztlakovou silou.

Vulkanické erupcie a zemetrasenie

Sopečné erupcie spôsobujú vyvrhnutie obrovského množstva popola, ktorý sa ukladá v okolí svahu vulkánu. Intenzívne dažde môžu vplyvom zrýchlenej erózie na týchto svahoch zapríčiniť rozsiahle bahenné prúdy. Pri zemetrasení v horninovom prostredí dochádza k dočasným zmenám napätí, ktoré môžu porušiť stabilitné pomery svahu v širokom aj hlbokom okolí epicentra. Pri zemetrasení najčastejšie dochádza k skalnému rúcaniu alebo zosúvaniu.

2.3.4. Antropogénne faktory

Najčastejším antropogénnym faktorom, ktorý spôsobuje svahové deformácie je predovšetkým stavebná činnosť alebo hlbinná, či povrchová ťažba. Tieto antropogénne činnosti ovplyvňujú svahové pohyby faktormi ako napr. zmena geometrie svahu vplyvom odľahčenia päty zárezom, priťaženie koruny svahu násypom alebo konštrukciou, alebo odstránenie vegetácie. [4],[8]

Odľahčenie päty svahu

K odľahčeniu päty svahu najčastejšie dochádza zárezom alebo výkopom jamy a tým k porušeniu stability svahu. Taktiež aj vplyvom stavebnej činnosti a povrchovej ťažby. Pri

odľahčení päty svahu dôjde k zmene napätosti v svahu a v jej dôsledku sa začne prejavovať zvyškové napätie, ktorého následkom je vznik svahových deformácií.

Priťaženie koruny svahu

Najčastejším prípadom priťaženia koruny svahu je jeho zaťaženie násypom alebo stavebnou konštrukciou. Vplyvom priťaženia dochádza k nárastu šmykového napätia a zväčšeniu napätí v póroch zeminy a k zníženiu vnútorného trenia. Čím je priťaženie rýchlejšie, tým viac je nebezpečnejšie.

Vplyv hlbínnej a povrchovej ťažby na stabilitu svahov

Hlbinná ťažba vyvoláva v svojom priebehu, alebo dodatočne, poklesy vrstiev do prázdnych priestorov. Charakter poklesu, konkrétne jeho rýchlosť a rozsah, závisí na hĺbke dobývania, na rozmeroch vydobytých priestorov a na fyzikálno mechanických vlastnostiach nadložia. Pri povrchovej ťažbe sú nepriaznivé podmienky stability v okrajových častiach panvy, kde sklon lomových svahov je zhodný so sklonom vrstiev a podložie tvoria íly s tlakovou vodou. Najrizikovejšie mohutné zosuvy hrozia v prípade keď je horský masív oslabený mechanickými diskontinuitami a na nich môže dochádzať k pohybu dôsledkom silných vibrácií, alebo vrstva v päte svahu koncentruje napätie. [4],[1]

2.4. Inžiniersko-geologický prieskum svahových deformácií

Inžiniersko-geologický prieskum predstavuje základný podklad pre projektovú činnosť, alebo pre iné rozhodovania v oblastiach postihnutých zosuvmi. Úlohou inžiniersko-geologického prieskumu je posúdenie stupňa porušenia rovnovážneho stavu prirodzených zosuvov alebo lomových stien a násypov s cieľom navrhnúť optimálny spôsob zabezpečenia. U novo projektovaných svahov je cieľom prieskumu nájsť najvhodnejšie miesto, navrhnúť bezpečný sklon a výšku svahu a technologický postup samotného budovania.

Inžiniersko-geologický prieskum zisťuje :

- Plošné a priestorové obmedzenia svahových deformácií - priebeh šmykových plôch
- smer a rýchlosť svahového pohybu
- hydrogeologické pomery
- geologická stavba
- aktivitu svahových pohybov a fyzikálno-mechanické vlastnosti hornín

Inžiniersko-geologický prieskum zosuvnej oblasti sa rozdeľuje do štyroch etáp, ktoré sa môžu v nutnosti zlučovať. [1],[2]

2.4.1. Orientačný prieskum

Orientačný prieskum zahŕňa prehliadku daného územia, pri ktorom sa pozorne sledujú všetky deformácie na povrchu, ako napr. otvorené trhliny, naklonenie stromov, nové pramene a na okolitých stavbách napr. trhliny v povrchu asfaltových komunikácií. V prípade že prvotné výsledky preukazujú reálne riziko svahovej deformácie, je nutné prijať opatrenia. Všetky stavebné práce, ktoré môžu vyvolať svahové pohyby budú pozastavené. V prípade, že ohrozenú oblasť tvoria plynovody alebo produktovody, zvážime ich odpojenie, aby nedošlo k ekologickej havárii.

2.4.2. Predbežný prieskum

Hlavnou úlohou predbežného prieskumu je objasnenie inžiniersko-geologických podmienok. Súčasťou tejto etapy je prevádzanie mapovania a rozbor archívnych materiálov. Taktiež sa prevádzajú prieskumné práce, na základe ktorých sa zostrojí základné rozhodnutie o rozsahu a typu zosuvu, hĺbke šmykovej plochy a hladine podzemnej vody. V tomto prieskume sa ďalej navrhuje postup prieskumných prác, ktoré by sa mali zrealizovať v podrobnom prieskume. Jedná sa o práce ako rozmiestnenie vrtov, kopaných sond, prípadne geofyzikálne práce. Všetky informácie slúžia predovšetkým k orientačnej predstave porušenia svahu.

2.4.3. Podrobný prieskum

Podrobný prieskum predstavuje základný podklad pre účelovú sanáciu zosuvu. Zahŕňa podrobné mapované práce, sondážne práce, odbery vzoriek, geofyzikálne práce, podrobné výškové a polohové zameranie zosuvu a jeho okolia a taktiež laboratórne skúšky a stabilitné výpočty. Výsledkom podrobného prieskumu je záverečná správa zhotovená inžinierskym geológom, geotechnikom, ktorá obsahuje obsah jednotlivých výsledkov a zvyčajne aj odporúčanie pre sanáciu zosuvu. Súčasťou tejto správy sú aj geologické rezy a podrobné údaje o povrchovej a podzemnej vode.

2.4.4. Doplnkový prieskum

Doplnkový prieskum upresňuje informácie, ktoré neboli zistené v podrobnom prieskume, ale sú potrebné. Môže sa prevádzať v priebehu projektu sanácie zosuvu. [1],[2]

Inžiniersko-geologické mapovanie

Inžiniersko-geologické mapovanie je súčasťou predbežného prieskumu. Podkladom pre mapovanie sú topografické mapy alebo zriedka aj letecké snímky. Do mapy sa zaznamenávajú všetky zosuvné prejavy, ako odlúčená oblasť, transportná zóna, akumulčná oblasť, trhliny, zosuvné bloky a hydrogeologické objekty ako napr. studne, pramene. Pri mapovaní venujeme zvýšenú pozornosť prítomným trhlinám. V spodnej časti zosuvu sú trhliny zovreté, stlačené alebo deformované tlakom. Šmykové trhliny pozdĺžne vznikajú na bokoch zosuvu. Zaznamenávanie priebehu trhlín vedie k správne poznaniu pohybu zosuvov. Súčasťou mapovania je aj zistenie štádia vývoju zosuvu.

Geofyzikálny prieskum

V priebehu zosúvania dochádza k pretvoreniu a k zmene fyzikálno-mechanických vlastností hornín. Geofyzikálny prieskum prevádzame pomocou geofyzikálnych metód na zmapovanie hlbokého profilu zosuvu a overenie šmykových plôch. Tieto informácie slúžia pre lepší návrh dĺžky sanačných prvkov, napríklad mikropiloty a taktiež k spresneniu stabilitných výpočtov. Pri geofyzikálnom prieskume sa najviac využívajú elektrické a seizmické vlastnosti hornín. Z elektrických vlastností sa jedná o merný odpor, rezistivitu. Najpoužívanejšia geofyzikálna metóda využívajúca rezistivitu sa nazýva vertikálne elektrické sondovanie. Zo seizmických vlastností sa jedná o rýchlosť šírenia seizmických vln. Najpoužívanejšia metóda založená na meraní rýchlosti šírenia seizmických vln sa nazýva plytká refrakčná seizmika.

Hydrogeologický prieskum

Cieľom hydrogeologického prieskumu je stanovenie výšky hladiny podzemnej vody a jej prípadne zmeny. Ďalej zistiť hodnotu pórových tlakov a hodnotu vztlaku. Hladinu podzemnej vody môžeme sledovať vo vrte pomocou elektro kontaktného hladinomeru, alebo pomocou plaváku. Pri dlhodobom sledovaní hladiny podzemnej vody sa používajú kontinuálne merače ktoré merajú priebežné zmeny hladiny vody vo vrte. Pre zistenie vztlaku a pórových tlakov sa používajú rôzne typy otvorených a uzavretých piezometrov.

Rozdiel medzi otvoreným a uzavretým je v tom, že uzavretý meria pórový tlak v skúmanom mieste a otvorený výtlačnú hladinu vody.

Technické prieskumné práce

Pri technických prácach sa vymedzuje hĺbka a priebeh šmykových plôch a dokumentujú sa jednotlivé geologické vrstvy. Základné metódy prieskumných prác sú sondovacie ryhy, prieskumné stoly, vŕtané sondy. Sondovacie ryhy sa používajú pre overenie detailu okrajových trhlín väčších porúch a môžu byť tiež použité ako odvodňovacie drény. Vŕtané sondy predstavujú najčastejšie prieskumné dielo, ktoré sa používa aj v skalných horninách aj v zeminách. [1],[2]

Laboratórne a poľné skúšky pre určovanie vlastností hornín

Stanovenie fyzikálno-mechanických vlastností hornín a zemín, je dôležitým predpokladom pre modelovanie stability svahov.

Najčastejšie sa jedná o tieto vlastnosti :

- granulometrické zloženie
- konzistenčné stavy
- pevnostné vlastnosti
- stlačiteľnosť zemín

3. Zásady riešenia stability svahu

Pre riešenie stupňa stability v súdržných a nesúdržných zeminách musia byť splnené predpoklady:

- znalosť geometrického tvaru šmykovej plochy
 - a) nesúdržné zeminy – rovinný tvar šmykovej plochy
 - b) súdržné zeminy – zakrivený tvar šmykovej plochy
- znalosť rozdelenia napätí na šmykových plochách
- znalosť šmykovej pevnosti na šmykových plochách
 - a) riešenie v totálnych parametroch φ_u, c_u
 - b) riešenie v efektívnych parametroch φ_{ef}, c_{ef}

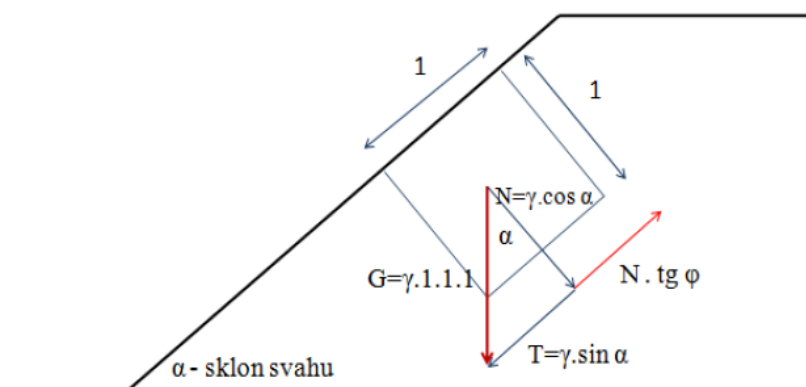
φ	–	uhol vnútorného trenia	[°]
c	–	súdržnosť zeminy	[kPa]

Šmykovú pevnosť zemín určujeme pomocou šmykovej krabicovej a triaxiálnej skúšky a taktiež je možné získať parametre kritického stavu zemín. [3]

3.1. Stabilita svahov v nesúdržných zeminách

U nesúdržných zemín rozlišujeme tieto 4 prípady riešenia, kde šmyková plocha je rovinná:

a) Svahom nepresakuje voda



Obrázok 4 - Obecné riešenie pre nesúdržné zeminy, svahom nepresakuje voda [9]

Z podmienky rovnováhy plynie :

$$T = N \cdot \operatorname{tg} \alpha \quad (1)$$

$$\gamma \cdot \sin \alpha = \gamma \cdot \cos \alpha \cdot \operatorname{tg} \varphi \quad (1.1)$$

$$\sin \alpha = \cos \alpha \cdot \operatorname{tg} \varphi \quad (1.2)$$

$$\frac{\sin \alpha}{\cos \alpha} = \operatorname{tg} \varphi \quad (1.3)$$

$$\operatorname{tg} \alpha = \operatorname{tg} \varphi \quad (1.4)$$

$$\alpha = \varphi \quad (1.5)$$

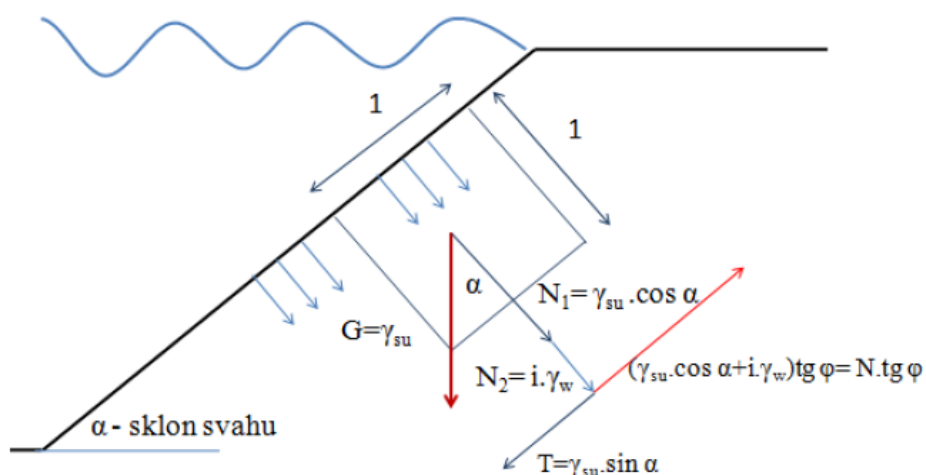
Svah musí mať určitú bezpečnosť, ktorá sa nazýva súčiniteľ bezpečnosti γ_n .

$$\gamma_n = \operatorname{tg} \frac{\varphi}{\operatorname{tg} \alpha} \quad (2)$$

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\operatorname{tg} \varphi}{\gamma_n} \quad (2.1)$$

$$\gamma_n = (1,2 \div 1,5)$$

b) Voda presakuje kolmo do svahu



Obrázok 5 – Obecné riešenie pre nesúdržné zeminy, voda presakuje kolmo do svahu [9]

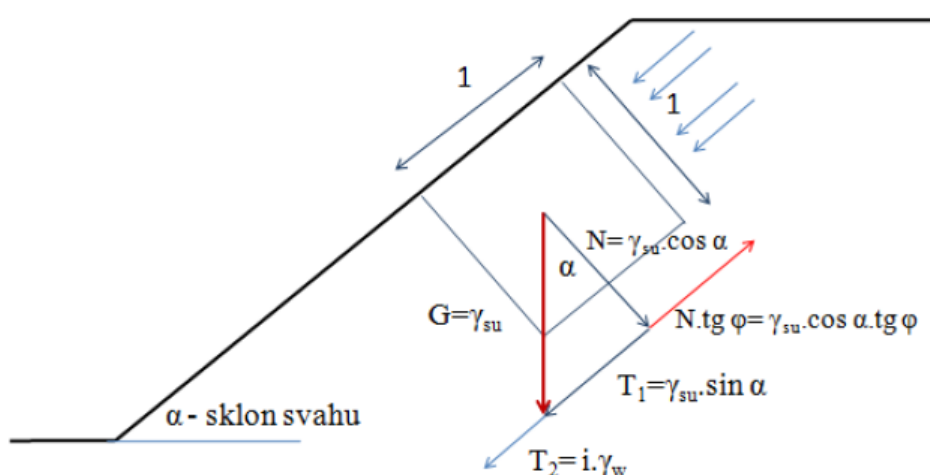
Z podmienky rovnováhy plynie :

$$\gamma_{su} \cdot \sin \alpha = \gamma_{su} \cdot \cos \alpha + i \cdot \gamma_w \cdot \operatorname{tg} \varphi \quad (3)$$

Nutný sklon:

$$\operatorname{tg} \alpha = \operatorname{tg} \varphi \frac{\left(1 + \frac{i \cdot \gamma_w}{\gamma_{su} \cdot \cos \alpha}\right)}{F} \quad (3.1)$$

c) Voda presakuje rovnobežne so svahom



Obrázok 6 – Obecné riešenie pre nesúdržné zeminy, voda presakuje rovnobežne so svahom [9]

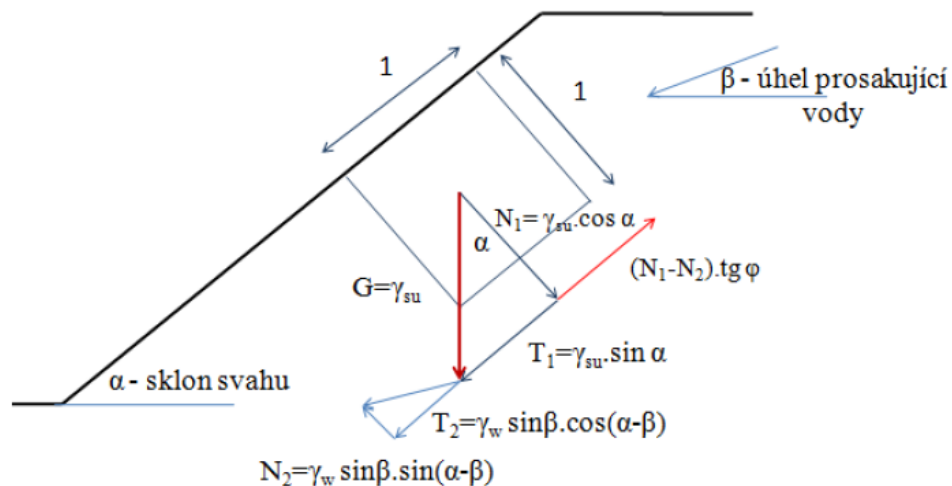
Z podmienky rovnováhy plynie :

$$\gamma_{su} \cdot \sin \alpha + \gamma_w \cdot \sin \alpha = \gamma_{su} \cdot \cos \alpha \cdot \operatorname{tg} \varphi \quad (4)$$

Nutný sklon :

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\left(\frac{\gamma_{su}}{\gamma_{su} + \gamma_w} \right)}{F} \quad (4.1)$$

d) Voda presakuje svahom pod obecným uhlom β



Obrázok 7 – Obecné riešenie pre nesúdržné zeminy, voda presakuje svahom pod obecným uhlom β [9]

Z podmienky rovnováhy plynie :

$$\gamma_{su} \cdot \sin \alpha + \gamma_w \cdot \sin \beta \cdot \cos(\alpha - \beta) = [\gamma_{su} \cdot \cos \alpha - \gamma_w \cdot \sin \beta \cdot \sin(\alpha - \beta)] \cdot \operatorname{tg} \varphi \quad (5)$$

3.2. Metódy medznej rovnováhy pre určenie stupňa stability svahu

Stabilitu svahu najčastejšie riešime metódou medznej rovnováhy, čo znamená, že riešime rovnováhu aktívnych a pasívnych síl pozdĺž uvažovanej šmykovej plochy. Pre výpočet stability svahu je dôležité poznať pevnosť zeminy v efektívnych, prípadne totálnych parametroch pre násypy. [3],[10]

3.2.1. Metóda Pettersonova (prúžková)

Pettersonova metóda patrí k najjednoduchším metódam, pretože neuvažuje so silami vyvolanými susednými prúžkami a vychádza teda len z momentovej podmienky rovnováhy okolo stredu šmykovej plochy.

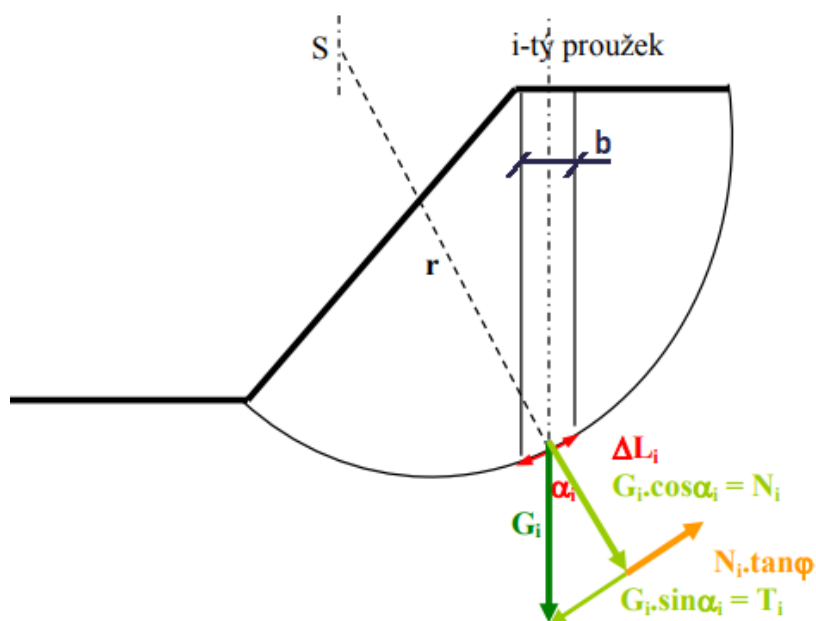
Pre zistenie stability svahu musíme šmykovú plochu nahradiť kruhovým oblúkom o polomere r a strede kružnice S . Výpočet sa prevádza po jednom metri dĺžky svahu v rovine.

Svah sa rozdelí nad šmykovou plochou na jednotlivé prúžky o šírke 1 meter. Na šmykovú plochu pôsobí vlastná tiaž G , ktorá sa skladá z normálovej zložky N kolmej k šmykovej ploche a tangenciálnej zložke T . [3],[10]

Stupeň stability sa vypočíta z nasledovného vzťahu:

$$F = \frac{\sum_{i=1}^n N_i \tan \varphi_i + \sum_{i=1}^n c_i \Delta L_i}{\sum_{i=1}^n T_i} \quad (6)$$

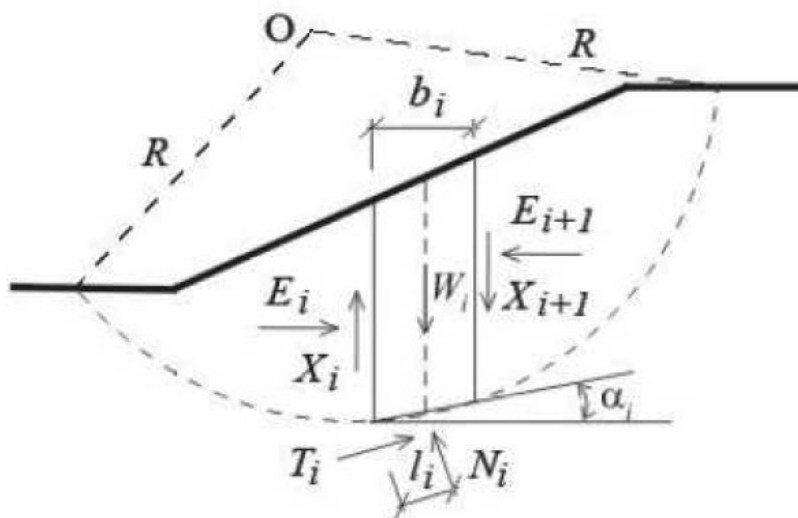
c	-	súdržnosť	[kPa]	S	-	stred kružnice
l	-	dĺžka šmykovej plochy	[m]	r	-	polomer kružnice [m]
N	-	normálová zložka síl	[kN]	b	-	šírka prúžku [m]
ϕ	-	uhol vnútorného trenia	[°]	G	-	vlastná tiaž prúžku [kN]
T	-	tangenciálna zložka síl	[kN]	α	-	uhol medzi G a N [°]
ΔL	-	dĺžka šmykovej kružnice	[m]			



Obrázok 8 Pettersonova metóda [9]

3.2.2. Metóda Bishopova

Pri Bishopovej metóde je taktiež predpokladom kruhová šmyková plocha. V porovnaní s Pettersonovou metódou je lepšia z dôvodu že berie do úvahy aj spolupôsobenie susedných prúžkov. Z toho dôvodu dochádza k rozšíreniu počtu uvažovaných síl o šmykové X_i a normálové sily E_i , ktoré pôsobia na bočných stenách prúžku. [3],[10]



Obrázok 9 Bishopova metóda [9]

Najčastejšie sa stretávame s použitím zjednodušenej Bishopovej metódy, v ktorej uvažujeme nulové šmykové sily medzi blokmi X_i . Stupeň stability vyplýva zo vzťahu:

$$F = \frac{1}{\sum_i W_i \cdot \sin \alpha_i} \cdot \sum_i \frac{c_i \cdot b_i + (W_i - u_i \cdot b_i) \cdot \tan \phi_i}{\cos \alpha_i + \frac{\tan \phi_i \cdot \sin \alpha_i}{F}} \quad (7)$$

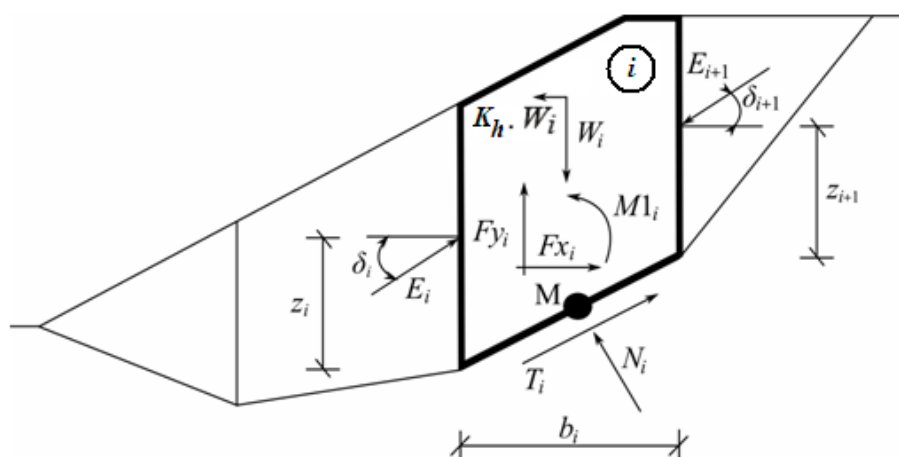
u_i	-	pórový tlak na bloku	$[kN/m^2]$
c_i, ϕ_i	-	efektívne hodnoty parametrov zeminy	$[kPa, ^\circ]$
W_i	-	tiaž bloku	$[kN]$
α_i	-	sklon úseku šmykovej plochy	$[^\circ]$
b_i	-	šírka bloku	$[m]$

3.2.3. Spencerova metóda

Táto metóda splňuje všetky tri podmienky rovnováhy na jednotlivých blokoch. Momentovú podmienku a podmienky vo vodorovnom a zvislom smere.

Uvažuje s nenulovými medzi blokovými silami. Limitnú rovnováhu síl a momentov na blokoch vypočítame zo zavedením týchto predpokladov:

- dielčie plochy medzi blokmi sú vždy zvislé
- lúč tiaže bloku W_i prechádza stredom i -tého úseku šmykovej plochy bodom M
- normálová sila N_i pôsobí v strede i -tého úseku šmykovej plochy v bode M
- sklon δ medzi blokových síl E_i je konštantný pre všetky bloky s výnimkou počiatku a konca kde je sklon $\delta = 0$



Obrázok 10 Spencerova metóda [10]

W_i	-	tiaž bloku vrátane priťaženia
K_h	-	faktor vodorovného zrýchlenia pri zemetrasení
$K_h \cdot W_i$	-	vodorovná zotrvačná sila – účinok zemetrasenia
E_i, E_{i+1}	-	sily ktorými na seba pôsobia susedné bloky odklonené o uhol δ
F_{xi}, F_{yi}	-	ostatné vodorovné a zvislé sily pôsobiace na blok [kN]
$M \cdot l_i$	-	moment od síl F_{xi}, F_{yi} otáčajúci sa okolo bodu M [kN/m]
U_i	-	výslednica pórového tlaku na i -tom úseku

Ak je známa veľkosť a smer pôsobenie vyššie spomenutých síl, je možné zostaviť riešenie metódy na základe príslušných vzorcov :

$$N_i = N'_i + U_i \quad (8)$$

- Vzorec reprezentuje vzťah medzi totálnou a efektívnou hodnotou normálovej sily na šmykovej ploche

$$T_i = (N_i - U_i) + \frac{b_i}{\cos \alpha_i} = N'_i \cdot \tan \phi_i + c_i \frac{b_i}{\cos \alpha_i} \quad (9)$$

- Vzťah vyjadruje Mohr-Coloumbove kritérium reprezentované vzťahom normálovej a šmykovej sily na danom úseku šmykovej plochy.

$$N'_i + U_i - W_i \cdot \cos \alpha_i + K_h \cdot W_i \cdot \sin \alpha_i + F_{yi} \cdot \cos \alpha_i - F_{xi} \cdot \sin \alpha_i + E_{i+1} \cdot \sin(\alpha_i - \delta_{i+1}) - E_i \cdot \sin(\alpha_i - \delta_{i+1}) = 0 \quad (10)$$

- Súčtová výnimka v kolmom smere k í-tému úseku šmykovej plochy

$$N'_i \frac{\tan \phi_i}{F} + \frac{c_i}{F} \frac{b_i}{\cos \alpha_i} - W_i \cdot \sin \alpha_i - K_h \cdot W_i \cdot \cos \alpha_i + F_{yi} \cdot \sin \alpha_i + F_{xi} \cdot \cos \alpha_i - E_{i+1} \cdot \cos(\alpha_i - \delta_{i+1}) + E_i \cdot \cos(\alpha_i - \delta_i) = 0 \quad (11)$$

- Súčtová výnimka v rovnobežnom smere k í-tému úseku šmykovej plochy

$$E_{i+1} \cdot \cos \delta_i \cdot \left(z_{i+1} - \frac{b_i}{2} \tan \alpha_i \right) - E_{i+1} \cdot \sin \delta_{i+1} \frac{b_i}{2} - E_i \cdot \cos \delta_i \left(z_i \frac{b_i}{2} \tan \alpha_i \right) - E_i \cdot \sin \delta_i \frac{b_i}{2} + M \cdot l_i - K_h \cdot W_i \cdot (\gamma_M - \gamma_{gi}) = 0 \quad (12)$$

- Vzťah reprezentuje momentovú výnimku k bodu M, v ktorej γ_M je zvislá súradnica bodu M a γ_{gi} je zvislá súradnica pôsobiska tiaže bloku.

$$E_{i+1} = \frac{[(W_i - F_{yi}) \cdot \cos \alpha_i - (K_h \cdot W_i - F_{xi}) \cdot \sin \alpha_i - U_i + E_i \cdot \sin(\alpha_i - \delta_i)] \frac{\tan \phi_i}{F} + \frac{c_i}{F} \frac{b_i}{\cos \alpha_i} (W_i - F_{yi}) \cdot \sin \alpha_i - (K_h \cdot W_i - F_{xi}) \cdot \cos \alpha_i + E_i \cdot \cos(\alpha_i - \delta_i)}{\sin(\alpha_i - \delta_{i+1}) \frac{\tan \phi_i}{F} + \cos(\alpha_i - \delta_{i+1})} \quad (13)$$

- Pomocou tohto vzťahu, pre dané hodnoty δ_i a F môžeme postupne dopočítať medzi blokové sily E . Vychádzame z predpokladu, že $E_1 = 0$.

$$z_{i+1} = \frac{\frac{b_i}{2} [E_i \cdot (\sin\delta_{i+1} - \cos\delta_{i+1} \cdot \tan\alpha_{i+1}) \cdot E_i \cdot (\sin\delta_i - \cos\delta_i \cdot \tan\alpha_i)] + E_i \cdot z_i \cdot \cos\delta_i - M \cdot l_i + K_h \cdot W_i \cdot (\gamma_M - \gamma_{gi})}{E_i \cdot \cos\delta_i} \quad (14)$$

- Aplikovaným daného vzťahu určíme všetky ramená medzi blokových síl, za predpokladu, že $z_1 = 0$. [10]

3.2.4. Janbuova metóda

Je metóda, ktorej základom je taktiež splnenie rovnováhy síl a momentov na jednotlivých blokoch s výnimkou momentovej podmienky na najhoršom bloku, ktorá nie je splnená, tým pádom sa s ňou neuvažuje. Janbuova metóda vychádza z totožných vzťahov ako metóda Spencerova a prvé tri predpoklady, z ktorých vychádza, sú ekvivalentné Spencerovej metóde. Štvrtý predpoklad Janbuovej metódy hovorí, že poloha medzi blokových síl z_i je na každom bloku odhadnutá, pričom na začiatku a konci je $z = 0$. Z posledného predpokladu teda vyplýva, že rozdiel oproti Spencerovej metóde je v tom, že Janbuova metóda nevychádza z rozdielného uhlu pôsobenia medzi blokových síl, ale z polohy ich pôsobenia nad šmykovou plochou z_i .

Voľba polohy medzi blokových síl môže byť výrazne ovplyvnená konvergenciou metódy. Zle zvolený odhad polohy síl môže mať za príčinu nesplnenie podmienky rovnováhy na jednotlivých blokoch. Polohu medzi blokových síl umiestňujeme z pravidla do jednej tretiny výšky rozhrania medzi blokmi.

Výpočet stupňa stability F riešime v nasledujúcich krokoch :

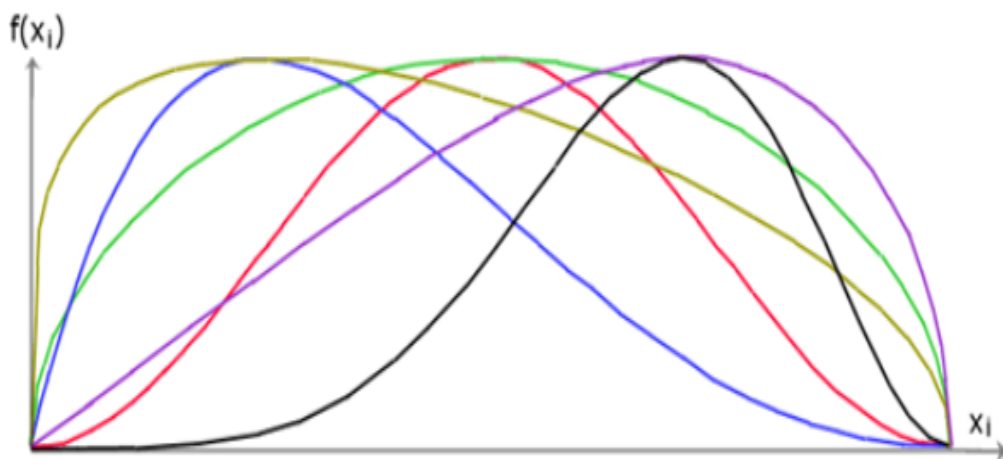
- 1) Zvolenie prvej hodnoty uhlov $\delta_i = 0$ a polohu síl z_i
- 2) Z voleným hodnotám sa stanoví stupeň stability F , za predpokladu, že na hornom konci šmykovej musí byť hodnota $E_{n+1} = 0$
- 3) Pre hodnoty vypočítané v predošlom kroku sa vypočíta veľkosť uhlov δ_i
- 4) Koniec nastane práve vtedy, keď sa stupeň bezpečnosti F ďalším opakovaním kroku 2 a 3 nemení. [10]

3.2.5. Morgenstern-Price metóda

Tak isto aj touto metódou je cieľom splnenie podmienok rovnováhy síl a momentov na jednotlivých blokoch. Samotné sily a ich pôsobenie, ktoré táto metóda uvažuje, sú taktiež zhodné s metódou Spencerovou ako aj pri metóde Janbu.

Prvé tri predpoklady sú ekvivalentné Spencerovej metóde a štvrtý tvrdí, že na každom bloku je sklon δ_i medzi blokových síl E_i rozdielny, pričom na konci šmykovej plochy je $\delta = 0$.

Rozdielom oproti Spencerovej metóde je odlišná voľba sklonu medzi blokových síl δ_i . Pomocou polovičnej funkcie sínus (Half-sine) sa zrealizuje prvotný odhad uhlov δ_i . Volí sa vždy jedna z funkcií. Voľba tvaru funkcie má na výsledky stupňa stability minimálny vplyv. Hodnota uhlu δ_i je daná súčinom funkčnej hodnoty Half-sine funkcie $f(x_i)$ v bode rozhrania x_i a parametru λ .



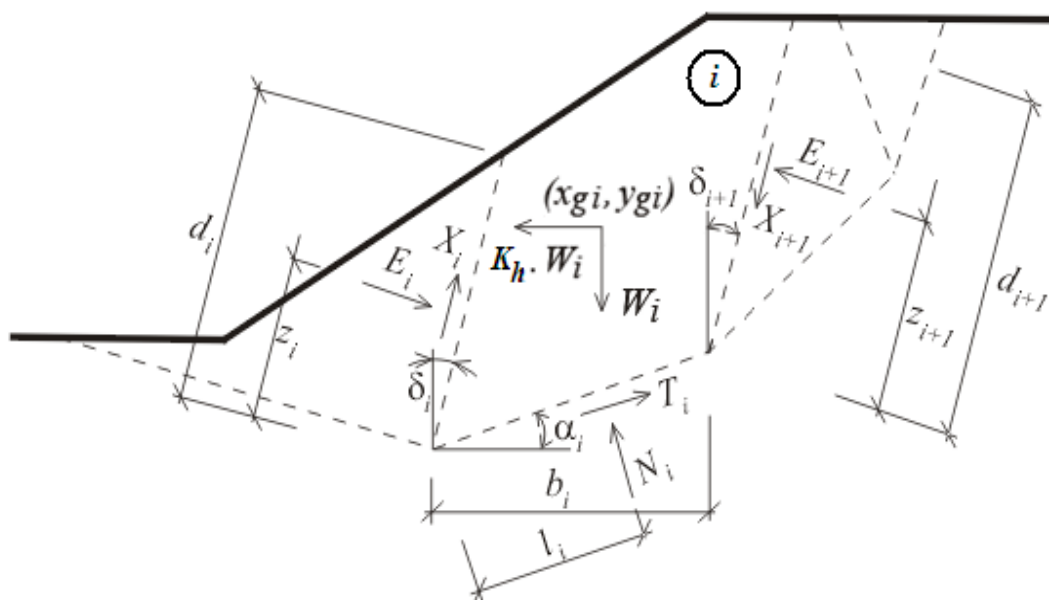
Obrázok 11 - Half-sine funkcia [10]

Výpočet stupňa stability F riešime v nasledujúcich krokoch:

- 1) Zvolíme hodnoty uhlov δ_i za použitia funkcie Half-sine ($\delta_i = \lambda \cdot f(x_i)$).
- 2) Pre dané hodnoty uhlov δ_i počítame príslušný stupeň stability F , s tým, že hodnota E_{n+1} je na hornom konci šmykovej plochy nulová
- 3) Použitím vyššie uvedených vzorcov ako pri metóde Spencerovej pre hodnoty E_i vypočítame veľkosť uhlov δ_i . Hodnota funkčnej hodnoty $f(x_i)$ musí byť po celú dobu výpočtu nulová a pri tejto hodnote musí byť splnená momentová podmienka. [10]

3.2.6. Sarmova metóda

Základom tejto metódy je splnenie rovnováhy síl a momentov na jednotlivých blokoch o sklone δ . Na obrázku je znázornené statické schéma blokov a síl, ktoré na bloky pôsobia. Do výpočtu limitnej rovnováhy vstupuje celkom $6n-1$ neznámych, pričom n je počet blokov, na ktoré delíme oblasť nad šmykovou plochou (obr.12.).



Obrázok 12 Statické schéma Sarmovej metódy [10]

E_i	- medzi blokové sily	[kN]
N_i	- Normálové sily na šmykovej ploche	[kN]
T_i	- šmykové sily na šmykovej ploche	[kN]
X_i	- šmykové sily medzi blokmi	[kN]
z_i, l_i	- polohy pôsobenia síl	[m]
K_h	- faktor vodorovného zrýchlenia	

Pre výpočet daných neznámych máme k dispozícii nasledujúcich $5n-1$ rovníc:

$$T_i \cdot \cos \alpha_i - N_i \cdot \sin \alpha_i = K_h \cdot W_i - F_{xi} + X_{i+1} \cdot \sin \delta_i - X_i \cdot \sin \delta_i + E_{i+1} \cdot \cos \delta_i - E_i \cdot \cos \delta_i$$

○ vzťah pre vodorovné súčtové výnimky na blokoch (15)

$$N_i \cdot \cos \alpha_i - T_i \cdot \sin \alpha_i = W_i - F_{yi} + X_{i+1} \cdot \cos \delta_{i+1} - X_i \cdot \cos \delta_i - E_{i+1} \cdot \sin \delta_{i+1} + E_i \cdot \sin \delta_i$$

○ vzťah pre zvislé súčtové výnimky na blokoch (16)

$$N_i \cdot l_i - X_{i+1} \cdot b_i \cdot \sec \alpha_i \cdot \cos(\alpha_i + \delta_{i+1}) + E_{i+1} \cdot [z_{i+1} + b_i \cdot \sec \alpha_i \cdot \sin(\alpha_i + \delta_{i+1})] - E_i \cdot z_i - W_i(x_{gi} - x_i) + K_h \cdot W_i \cdot (\gamma_{gi} - \gamma_i) - F_{xi} \cdot r_{xi} + F_{yi} \cdot r_{yi} = 0 \quad (17)$$

- vzťah pre momentové výnimky na blokoch

$$T_i = (N_i - U_i) \cdot \tan \phi_i + c_i \cdot b_i \cdot \sec \alpha_i \quad (18)$$

$$X_i = (E_i - PW_i) \cdot \tan \phi'_i + c'_i + d_i \quad (19)$$

- vzťahy medzi normálovými a šmykovými silami podľa Mohr-Coloumbovej teórie

PW_i	-	výsledný pórový tlak na deliacich rovinách	$[kN/m]$
ϕ'_i	-	priemerná hodnota uhlu vnútorného trenia na deliacej rovine	$[^\circ]$
c'_i	-	priemerná hodnota súdržnosti na deliacej rovine	$[kPa]$

Je nutné vopred odhadnúť $n - 1$ neznámych. Odhadom pôsobiska medzi blokových síl E_i je spôsobená relatívne malá nepresnosť. Úloha sa stáva pomocou odhadu staticky určitou, tým pádom za pomoci sústavy rovníc vieme určiť hodnoty všetkých neznámych.

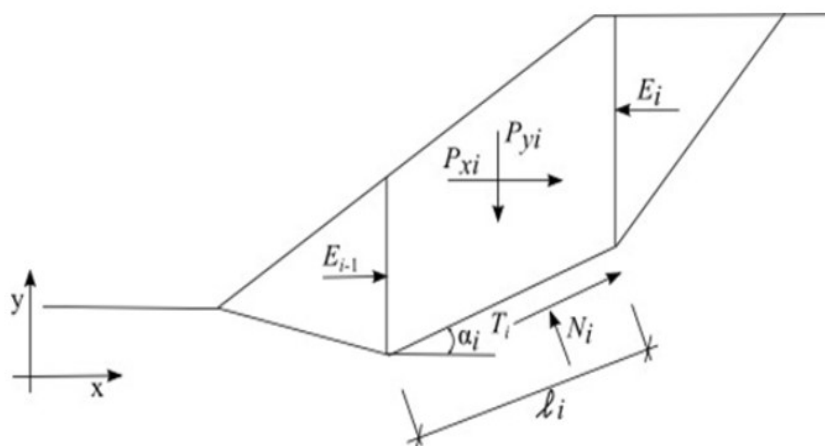
Stupeň stability je vo výpočte za úlohou redukovania parametrov zemín c a $\tan \phi$. Výpočet rovnováhy sa prevedie po každej redukcii zemín a tým získame faktor odporového zrýchlenia K_h , ktorý odpovedá príslušnému stupňu stability. Interakcia končí keď hodnota K_h dosiahne zadanej, alebo nulovej hodnoty. [10]

3.2.7. Sachuňancova metóda

Základom metódy je splnenie rovnováhy síl na jednotlivých blokoch. Pôsobenie síl a statické schéma je zrejmé na (obr. č 13).

Výpočet limitnej rovnováhy síl na blokoch má nasledujúce predpoklady:

- 1) Dielčie plochy medzi blokmi sú vždy zvislé
- 2) Medzi blokové sily E_i majú medzi sebou nulový sklon



Obrázok 13 Statické schéma Sachuňancovej metódy [10]

- P_{yi} - zvislá výslednica síl na bloku (tiaž bloku, príťaženie bloku, sila v kotvách atď.)
 P_{xi} - vodorovná výslednica síl na bloku (príťaženie bloku, geovýstuž atď.)

Postup riešenia spočíva v nasledujúcich vzťahoch:

$$P_{Ni} = P_{xi} \cdot \sin \alpha_i + P_{yi} \cdot \cos \alpha_i \quad (20)$$

- Rovnice transformácie zvislých a vodorovných síl do kolmého smeru k úseku šmykovej plochy

$$P_{Qi} = P_{yi} \cdot \sin \alpha_i - P_{xi} \cdot \cos \alpha_i \quad (21)$$

- Rovnice transformácie zvislých a vodorovných síl do rovnobežného smeru s úsekom šmykovej plochy

$$T_i = (N_i - U_i) \cdot \tan \phi_i + c_i \cdot l_i \quad (22)$$

- Rovnice vzťahu medzi silami na úseku šmykovej plochy, kde U_i je pórový tlak na danom úseku.

$$N_i = P_{Ni} + E_{i-1} \cdot \sin \alpha_i - E_i \cdot \sin \alpha_i \quad (23)$$

- Definícia súčtovej výnimky rovnováhy v kolmom smere k úseku šmykovej plochy.

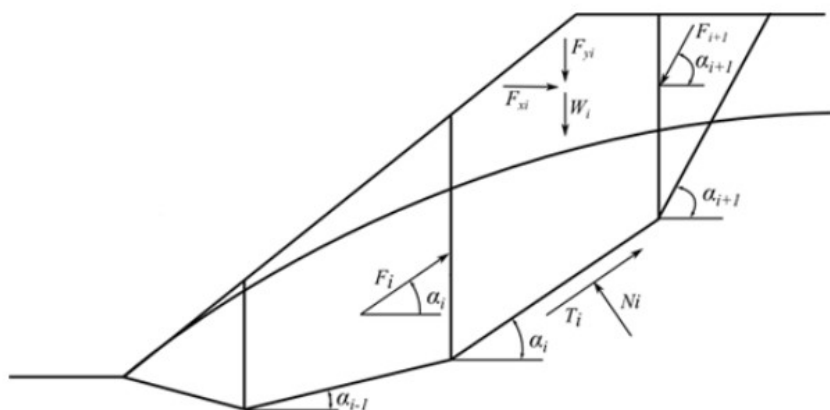
$$T_i = P_{Qi} + E_i \cdot \cos \alpha_i - E_{i-1} \cdot \cos \alpha_i \quad (24)$$

- Definícia súčtovej výnimky rovnováhy v rovnobežnom smere s úsekom šmykovej plochy.

Pomocou matematických vzťahov a úprav rovníc je ďalej možné získať vzťah medzi blokových síl E_i . V ďalšom kroku zavádzame do výpočtu stupeň stability, ktorý je hodnotou sily pôsobiacej na jednotlivé bloky zeminy uvedenej do stavu medznej rovnováhy. Do výpočtu zasahujú aktívne a brániace sa sily zosuvu. Na začiatku šmykovej plochy je hodnota $E_0=0$ a na konci šmykovej plochy na poslednom bloku musí byť $E_n=0$. Na základe tejto podmienky je potom možné odvodiť výpočet stupňa stability. [10]

3.2.8. Metóda ITF

Základom metódy je splnenie podmienok síl na jednotlivých blokoch. S momentovou podmienkou sa neuvažuje. Princíp metódy je znázornený na (obr. č.14).



Obrázok 14 Statické schéma posôbenia síl na bloku [10]

W_i	-	tiaž bloku	$[kN/m]$
F_{yi}	-	ostatné zvislé zaťaženie pôsobiace na blok	$[kN/m]$
F_{xi}	-	ostatné vodorovné zaťaženie pôsobiace na blok	$[kN/m]$
D_i	-	sila reprezentujúca prúdový tlak podzemnej vody stanovená vzťahom: $D_i = \gamma_w \cdot V_i \cdot \sin \beta_i$	
V_i	-	objem prietoku jednotlivým blokom	$[m^3]$
β_i	-	sklon hladiny podzemnej vody na jednotlivých blokoch	$[^\circ]$

Metóda spĺňa dané predpoklady:

- 1) deliace roviny medzi blokmi sú zvislé
- 2) pre časť bloku, ktorá je pod hladinou vody sa uvažuje tiaž podľa vzorca (25).

$$\gamma_{SU} = \gamma_{SAT} - \gamma_W \quad (25)$$

γ_{SU}	-	objemová tiaž zeminy pod hladinou podzemnej vody	$[kN/m^3]$
γ_{SAT}	-	objemová tiaž nasýtenej zeminy	$[kN/m^3]$
γ_W	-	objemová tiaž vody	$[kN/m^3]$

Pomocou vyššie uvedených síl môžeme zostaviť riešenie metódy na základe predpísaných vzťahov. Metóda ITF je pomerne citlivá na tvar šmykovej plochy. Je za potreby dbať na rozdiel sklonov susedných blokov, ktorý by z pravidla nemal byť väčší než 10° . [10]

3.3. Stabilita skalných stien

Posúdenie stability stien a svahov v skalnej hornine patri k náročným technickým problémom. Pri stabilitnej kontrole svahov v skalných horninách sa v dnešnej dobe používajú prevažne dve skupiny metód. Jedná sa o metódy analytické a metódy matematického modelovania.

Najčastejšie sa stretávame s nasledovnými typmi porušenie skalných stien

- porušenie šmykom
- porušenie odtrhnutím
- porušenie preklopením jednotlivých blokov [3]

4. Stochastické a matematické modelovanie

Stochastickým modelom rozumieme prvky alebo vzťahy medzi ktorými je charakter náhodných javov alebo náhodných veličín, prípadne náhodných procesov. Stochastický model uvažuje s jednou alebo viacerou náhodných zložiek a približuje sa tak reálnemu výsledku. Stochastický model však neodpovedá reálnej situácii z celá presne. Jedná sa o takzvanú pravdepodobnosť. [5]

4.1. Metódy matematického modelovania

Metódy matematického modelovania patria v súčasnej dobe k najdokonalejším prostriedkom pre riešenie náročných stabilitných úloh, či už v zemných telesách, alebo v skalnom masíve. Spoľahlivosť získaných výsledkov je limitovaná spoľahlivosťou vstupných dát. Pri riešení geotechnickej problematiky sú dnes využívané tri skupiny metód – metóda konečných prvkov MKP, metóda hraničných prvkov MHP a metóda oddelených prvkov MOP.

4.1.1. Metóda konečných prvkov MKP

Táto metóda je najčastejšou metódou matematického modelovania. Samotný názov je odvodený zo skutočnosti, že pre riešenie sa telesá rozdeľujú na sústavu konečných prvkov. Metóda umožňuje použitie pre pružné plastické a viskózne materiály. Umožňuje riešiť úlohy týkajúce sa prúdenia vody, procesu konsolidácie alebo zaradiť do matematického modelu diskontinuity. Táto metóda rieši aj priestorové úlohy ale pokiaľ je to možné snažíme sa úlohu previesť na rovinnú úpravou hodnôt modulu pretvárnosti. [3]

4.1.2. Metóda Hraničných prvkov MHP

Metóda vychádza z transformácie základných diferenciálnych rovníc na integrálne rovnice, ktoré vyjadrujú vzťahy len na hranici. Znamená to redukciu úlohy o jeden stupeň, čo je výhodou pri riešení zložitých priestorových úloh. Taktiež ako metóda konečných prvkov umožňuje riešenie nelineárnych úloh. [3]

4.1.3. Metóda oddelených prvkov MOP

Je to deformačná implicitná metóda podobná metóde konečných prvkov. Bloky sú vo vnútri rozčlenené sieťou konečných diferencií. Sieť je aj na obvode blokov, čo vlastne umožňuje vzájomnú interakciu blokov prostredníctvom ich rohov a okrajov pri veľkých posunoch. Taktiež umožňuje riešenie nelineárnych úloh. [4]

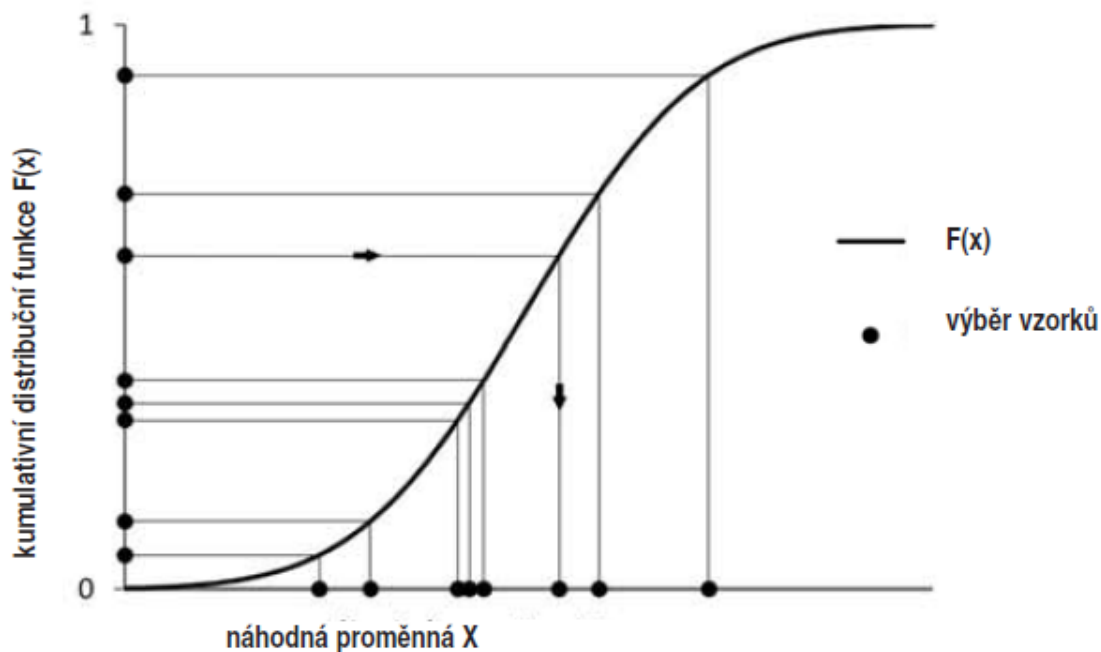
4.2. Metódy Stochastického modelovania

Tieto metódy majú za účelom podporu rozhodovacieho procesu v situáciách za neurčitosti a pre riadenie procesov a dejov náhodnou zložkou. Na rozdiel od analytických výpočtových postupov nevyžadujú tak veľkú mieru zjednodušenia geotechnickej situácie.

4.2.1. Metóda Monte Carlo

Metóda Monte Carlo sa bežne používa pre riešenie náhodných problémov, u ktorých požadujeme ich štatistické a pravdepodobnostné informácie. Táto metóda vyžaduje veľké množstvo opakovaných výpočtov s generovanými hodnotami vstupných parametrov.

Napriek tomu, že sa jedná o výkonnejšiu výpočtovú techniku, vhodnejšie je použiť metódu Latin Hypercube Sampling, ktorá zníži počet opakovaných výpočtov pri potrebnej presnosti. [11],[6]



Obrázok 15 Princíp výberu vzoriek metódy Monte Carlo [13]

4.2.2. Metóda Latin Hypercube Sampling

Prvé zavedenie metódy latinských hyperkociek malo spojenie s riešením a spracovaním neistôt v analýzach bezpečnosti nukleárnej elektrárne v Spojených štátoch amerických. Táto metóda je veľmi účinná v rámci spracovania štatistických analýz, ktoré sú zamerané na stanovenie nižších štatistických momentov výsledných premenných. Výrazne znižuje počet simulácií pri zachovaní vysokej presnosti odhadov. [12],[6]

4.3. Podstata metódy Latin Hypercube Sampling

Predpokladom metódy je znalosť distribučnej funkcie $F(x)$ každého vstupného parametru stochastického charakteru, ktorý vstupuje do výpočtu.

Obor hodnôt distribučných funkcií jednotlivých parametrov je v intervale od $\langle 0,1 \rangle$. Delí sa na N intervalov s rovnakou pravdepodobnosťou $1/N$.

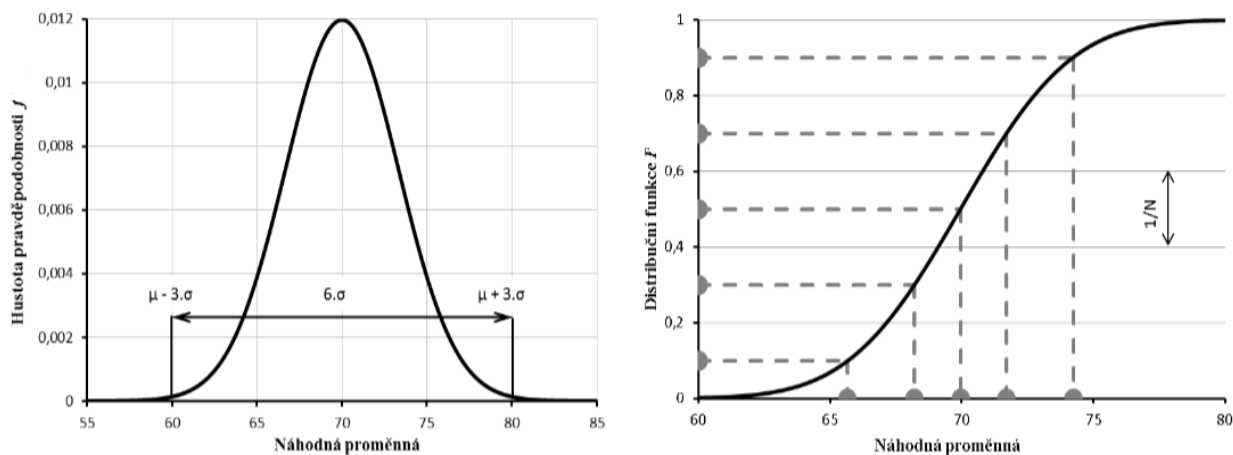
$$F(x) = \int_{-\infty}^{+\infty} f(x) dx \quad (26)$$

Stredná hodnota μ a rozptyl σ patria medzi základné charakteristiky rozloženia pravdepodobnosti a sú definované nasledujúcimi vzťahmi:

$$\mu = \int_{-\infty}^{+\infty} x \cdot f(x) dx \quad \sigma^2 = \int_{-\infty}^{+\infty} (x - \mu)^2 \cdot f(x) dx \quad (27)$$

Z každého N-tého intervalu je náhodnou generáciou vybraná jedna charakteristická hodnota, ktorá je pri simulačnom výpočte použitá jeden krát. Výsledkom generácie pre daný vstupný parameter je tým pádom náhodná permutácia čísel intervalov bez opakovania. V prípade m vstupných parametrov dostávame prevedenú maticu (n . m). Matica predstavuje m-ticu náhodných čísel intervalov odpovedajúcich distribučným funkciám uvažovaných vstupných parametrov, ktoré zasahujú do opakovaných výpočtov.

Náhodné hodnoty vstupujúcich parametrov získame priradením hodnôt inverznej distribučnej funkcie k stredom náhodne generovaných intervalov. [12],



Obrázok 16 Ukážka generácie metódou LHS [13]

Realizácia opakovaných výpočtov a štatistické vyhodnotenie sa zhoduje s metódou Monte Carlo. Výhoda zníženia počtu opakovaných výpočtov oproti metóde Monte Carlo sa čiastočne eliminuje prácnejšou generáciou náhodných parametrov.

Metóda Latin hypercube sampling má využitie aj v českej republike. Bola aplikovaná na príklade numerického model pre statické a stabilitné riešenie primárnej obmurovky a výlomu tunelu Válik, ktorý je súčasťou obchvatu miesta Plzeň na diaľnici D5 Praha-Rozvadov.

Ďalším príkladom využitia tejto metódy je statická analýza numerického modelu tunelu Mrázovka, kde bol pomocou tejto metódy vyhodnocovaný vplyv piatich základných parametrov Mohr-Coloumbového modelu na deformácie ostena a povrchu. [6]

5. Aplikácia stochastickej metódy Latin HyperCube sampling

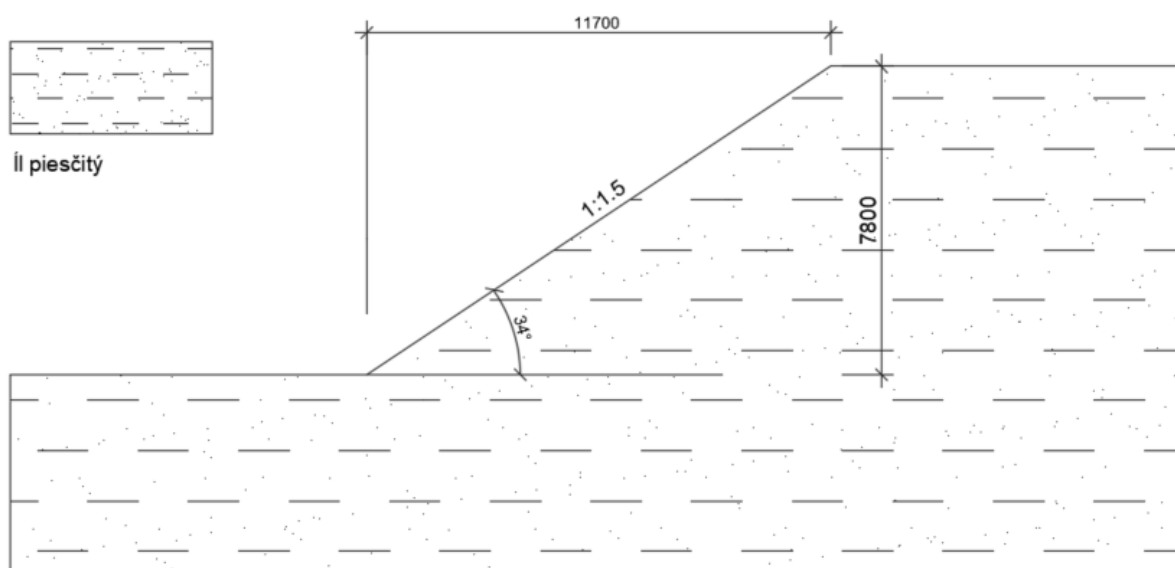
Stochastické vyhodnotenie stability svahu pomocou metódy Latin HyperCube sampling čiastočne vychádza z modelového príkladu diplomovej práce Jiřího Matajsza. Výpočet stupňa stability svahu je prevedený pomocou Pettersonovej metódy.

5.1. Vstupné parametre modelu svahu

Modelový príklad svahu je tvorený piesčitým ílom (F4 CS) s objemovou tiažou γ v prirodzenom uložení zadanou deterministicky. Svah dosahuje v najvyšších miestach výšku 7,8m. Sklon svahu po celej dĺžke je 1:1,5. Vstupnými generovanými parametrami sú uhol vnútorného trenia ϕ a súdržnosť c . Rozmedzia vstupných parametrov sú znázornené v tabuľke č. 1. Grafické znázornenie modelového príkladu je zreteľné z obrázku č. 17. [7]

Objemová tiaž v prirodzenom uložení γ [kN/m ³]	Uhol vnútorného trenia ϕ [°]	Súdržnosť c [kPa]
21,00	(28 – 36)	(2 – 6)

Tabuľka 1 Vstupné parametre pre výpočet stability



Obrázok 17 Grafické znázornenie modelu svahu

5.2. Generovanie vstupných parametrov

Generácia vstupných parametrov prebehla v predpripravenom module GLHS v programe Excel. Po vložení vstupných informácií pre náhodnú generáciu, zobrazených na obrázku č. 18, bolo vygenerovaných 20 hodnôt uhlu vnútorného trenia a súdržnosti, ktoré odpovedajú hodnotám distribučnej funkcie v intervale $<0,1>$. Vygenerované hodnoty sú zobrazené v tabuľke č. 2.

NÁHODNÁ GENERACE METODOU LHS (Latin Hypercube Sampling) X

Generace vstupních dat pro výpočetní metodu Počet generovaných vstupních parametrů Počet generovaných hodnot

hodnoty generovaných vstupních parametrů

parametr	dolní mez/horní mez	rozdělení p-sti	stř.hodn.	sm.odch.	
soudržnost	2	6	normální	4	0,667
uhol_v_t	28	36	normální	32	1,33

Obrázok 18 Vstupné dáta pre náhodnú generáciu

soudržnost		uhol v t	
DF	gen.hod.	DF	gen.hod.
0,425203	3,87	0,325461	31,40
0,923847	4,95	0,425198	31,75
0,524932	4,04	0,524934	32,08
0,574797	4,13	0,275593	31,21
0,175882	3,38	0,774276	33,00
0,225746	3,50	0,076119	30,10
0,375339	3,79	0,225724	31,00
0,026289	2,71	0,125988	30,48
0,325475	3,70	0,574802	32,25
0,624661	4,21	0,724407	32,79
0,27561	3,60	0,026251	29,42
0,674525	4,30	0,674539	32,60
0,126017	3,24	0,824144	33,24
0,72439	4,40	0,624671	32,42
0,076153	3,05	0,175856	30,76
0,774254	4,50	0,874012	33,52
0,873983	4,76	0,973749	34,58
0,973711	5,29	0,375329	31,58
0,475068	3,96	0,475066	31,92
0,824118	4,62	0,923881	33,90

Tabuľka 2 Náhodná generácia vstupných parametrov

5.3. Výpočet stupňa stability

Pre výpočet stupňa stability musia byť nastavené parametre ako metodika posúdenia, metóda výpočtu, tvar šmykovej plochy a typ výpočtu stupňa stability. Ako metodika posúdenia bol zvolený stupeň bezpečnosti pre trvalú návrhovú situáciu s hodnotou 1,5. Po nastavení metodiky posúdenia sa pridá rozhranie, geometria svahu a zatriedenie zeminy. Pre samotný výpočet bola zvolená Pettersonova metóda a ako typ výpočtu pre kruhovú šmykovú plochu bola zvolená optimalizácia. Optimalizácia je typ výpočtu, ktorý spočíva v nájdení šmykovej plochy s najmenšou hodnotou stupňa stability.

Stabilitní výpočty

Výpočet zemětřesení : Standard

Metodika posouzení : stupně bezpečnosti

Stupně bezpečnosti			
Trvalá návrhová situace			
Stupeň bezpečnosti :	SF _s =	1,50	[-]

Rozhraní

Číslo	Umístění rozhraní	Souřadnice bodů rozhraní [m]					
		x	z	x	z	x	z
1		0,00	5,00	9,00	5,00	21,20	12,80
		30,00	12,80				

Parametry zemin - efektivní napjatost

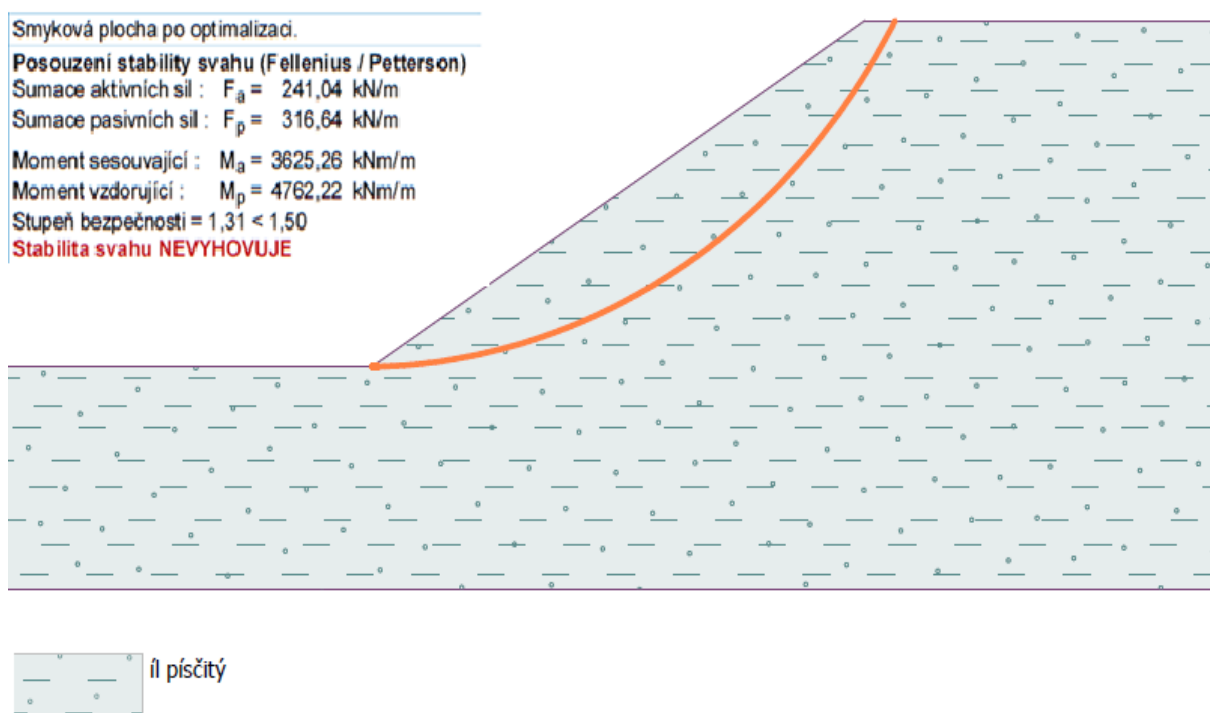
Číslo	Název	Vzorek	φ _{ef} [°]	c _{ef} [kPa]	γ [kN/m ³]
1	íl písčitý		31,40	3,90	21,00

Parametry zemin - vztlak

Číslo	Název	Vzorek	γ _{sat} [kN/m ³]	γ _s [kN/m ³]	n [-]
1	íl písčitý		21,00		

Obrázok 19 Vstupné dáta výpočtu stability svahu

Výsledkom výpočtu je určenie optimálnej kruhovej šmykovej plochy a určenie stupňa stability svahu, ktoré je znázornené na obrázku č. 20.



Obrázok 20 šmyková plocha po optimalizácii s uvažovaným stupňom bezpečnosti SFs 1,5

Celý postup sa opakuje 20 krát s príslušnými vygenerovanými hodnotami uhlu vnútorného trenia a súdržnosti. V tabuľke č.3. je zobrazených všetkých 20 výsledkov stupňa stability svahu s popisom šmykovej plochy pre odpovedajúce vygenerované hodnoty. V prílohách 1 až 20 sú znázornené výstupy výpočtov z programu GEO 5 pre jednotlivé generované hodnoty.

číslo výpočtu	Stupeň stability svahu	Popis šmykovej plochy	súdržnosť	uhol v.t.
1	1,31	šmyková plocha začína približne meter od koruny svahu a končí priamo v päte svahu	3,87	31,40
2	1,37	šmyková plocha začína približne meter od koruny svahu a končí priamo v päte svahu	4,95	31,75
3	1,35	šmyková plocha začína približne meter od koruny svahu a končí priamo v päte svahu	4,04	32,08
4	1,32	šmyková plocha začína približne meter od koruny svahu a končí priamo v päte svahu	4,13	31,21
5	1,35	šmyková plocha začína približne pol metra od koruny svahu a končí priamo v päte svahu	3,38	33,00
6	1,28	šmyková plocha začína približne 1,5m od koruny svahu a končí za úrovňou päty svahu	3,50	30,10
7	1,29	šmyková plocha začína približne meter od koruny svahu a končí priamo v päte svahu	3,79	31,00
8	1,2	šmyková plocha začína približne pol metra od koruny svahu a končí tesne nad päťou svahu	2,71	30,48
9	1,34	šmyková plocha začína približne pol metra od koruny svahu a končí priamo v päte svahu	3,70	32,25
10	1,43	šmyková plocha začína priamo v korune svahu a končí približne pol metra nad päťou svahu	4,21	32,79
11	1,27	šmyková plocha začína približne meter pod korunou svahu a končí tesne nad päťou svahu	3,60	29,42
12	1,41	šmyková plocha začína približne meter od koruny svahu a končí približne pol metra nad päťou svahu	4,30	32,60
13	1,35	šmyková plocha začína približne meter od koruny svahu a končí približne pol metra nad päťou svahu	3,24	33,24
14	1,39	šmyková plocha začína približne meter od koruny svahu a končí priamo v päte svahu	4,40	32,42
15	1,23	šmyková plocha začína približne pol metra od koruny svahu a končí priamo v päte svahu	3,05	30,76
16	1,45	šmyková plocha začína približne meter od koruny svahu a končí priamo v päte svahu	4,50	33,52
17	1,51	šmyková plocha začína približne meter od koruny svahu a končí priamo v päte svahu	4,76	34,58
18	1,42	šmyková plocha začína približne meter od koruny svahu a končí priamo v päte svahu	5,29	31,58
19	1,34	šmyková plocha začína približne meter od koruny svahu a končí priamo v päte svahu	3,96	31,92
20	1,47	šmyková plocha začína približne meter od koruny svahu a končí priamo v päte svahu	4,62	33,90

Tabuľka 3 Vypočítané hodnoty stupňa stability s popisom šmykovej plochy

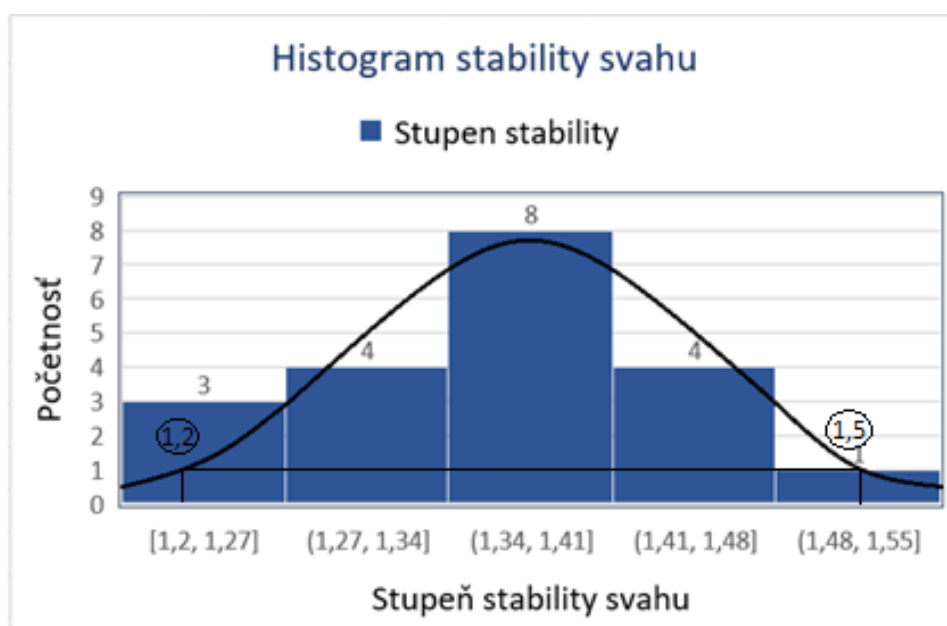
5.4. Zhodnotenie výsledkov

Z vypočítaných hodnôt stupňa stability boli v programe Excel následné dopočítané hodnoty zobrazené v tabuľke č.4. Z generovaných hodnôt súdržnosti, uhlu vnútorného trenia a vypočítaných hodnôt stupňa stability svahu boli v programe Excel zostrojené tri histogramy. Každý rad v histograme vyznačuje počet hodnôt odpovedajúcich hodnotám v rozmedzí danej rady. Z histogramu stability svahu je možné vidieť, že stupeň stability v rozmedzí od 1,34 až 1,41 odpovedá až ôsmim vypočítaným hodnotám.

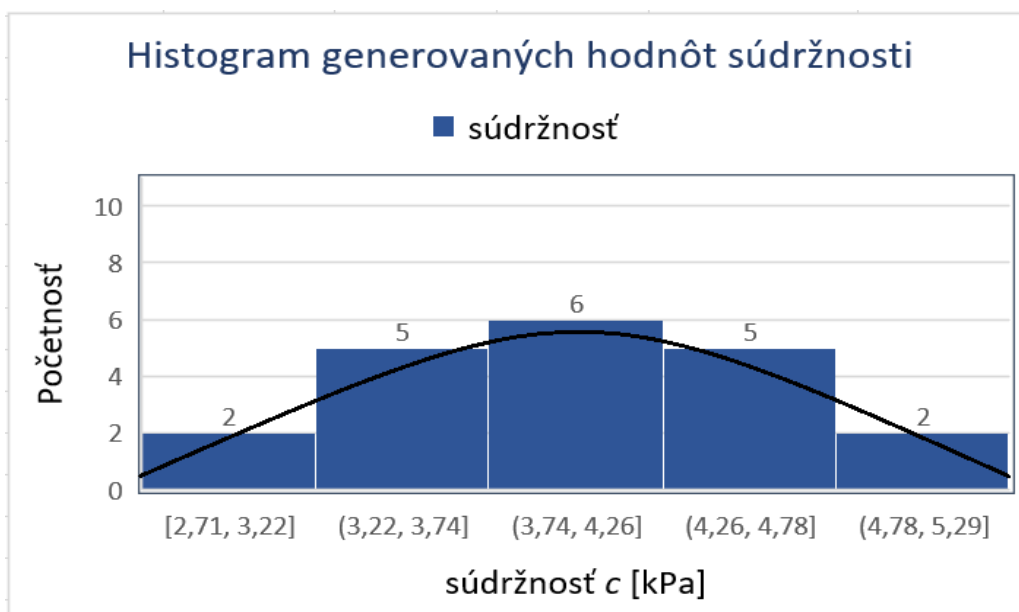
priemer hodnôt stupňa stability	smerodajná odchýlka
1,35	0,078
Percentil 0,99	Percentil 0,01
1,50	1,21

Tabuľka 4 Výpočet hodnôt a pravdepodobnosti stupňa stability

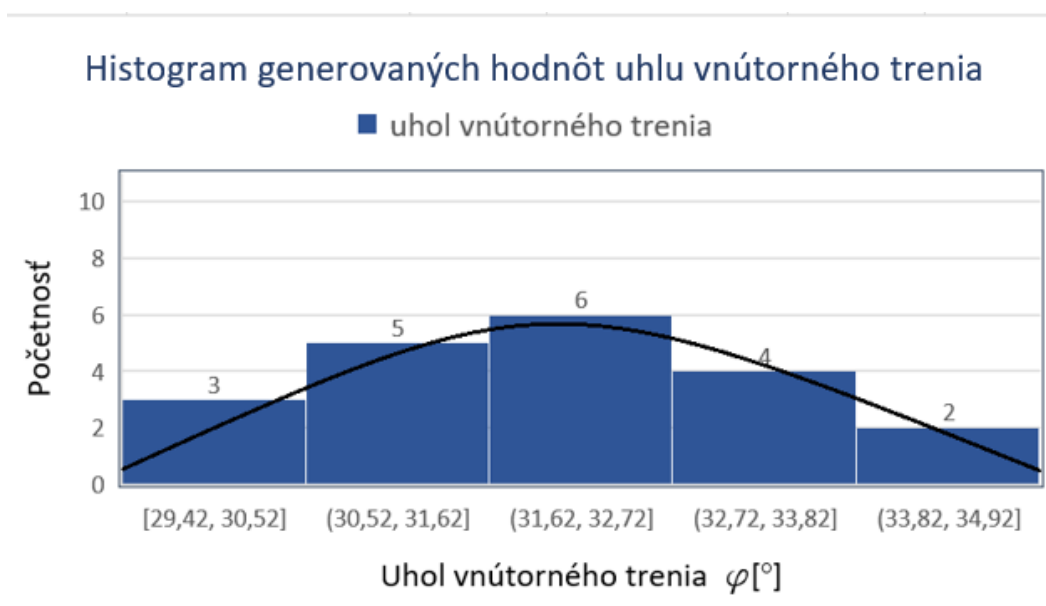
S vypočítaných hodnôt je dané, že Stupeň stability sa s 98% pravdepodobnosťou pohybuje v rozmedzí od 1,21 do 1,50 (graf č.1). Šmyková plocha bola vo väčšine prípadov umiestnená približne 1 meter od koruny svahu a končila priamo v päte svahu. Len v ojedinelých prípadoch mala začiatok pod korunou svahu.



Graf 1 - Histogram stability svahu, vrátane Gaussovej krivky rozloženia pravdepodobnosti



Graf 2 - Histogram súdržnosti, vrátane Gaussovej krivky rozloženia pravdepodobnosti



Graf 3 - Histogram uhlu vnútorného trenia, vrátane Gaussovej krivky rozloženia pravdepodobnosti

6. Záver

Obsahom bakalárskej práce je súhrn riešenia problematiky stability svahu. Úvodná časť práce sa viaže na opis svahových pohybov, ich rozdelenie a tak isto deformácie a klasifikácia zosuvov. Svahové deformácie patria medzi najzávažnejšie prírodné katastrofy na zemi. V ich dôsledku sa celosvetovo ročne odhadujú straty na desiatky miliárd vrátane výdajov na sanácie.

V ďalšej časti je rozvinutý inžiniersko-geologický prieskum svahových deformácií a popis jeho jednotlivých častí. Problematika stability svahu bola na úvod rozobraná obecnými zásadami pre jej riešenie. V ďalšom kroku bližšie popisuje výpočet stupňa stability pre súdržné a nesúdržné zeminy a na záver stručne popisuje stabilitu skalných stien. Súčasťou práce je aj popis matematického a stochastického modelovania. V rámci stochastického modelovania sú bližšie rozobrané metódy Monte Carlo a Latin Hypercube Sampling.

V poslednej časti práce je práve metóda Latin Hypercube sampling použitá na stochastické vyhodnotenie stability svahu modelového príkladu. Na základe vygenerovaných náhodných parametrov súdržnosti a uhlu vnútorného trenia bol 20 krát vypočítaný stupeň stability v geotechnickom software GEO 5 za použitia Pettersonovej metódy. Výpočty sú zobrazené v prílohách. Z vypočítaných hodnôt stupňa stability a použitia funkcie percentil v programe Excel bolo zistené, že stupeň stability sa s 98% pravdepodobnosťou pohybuje v rozmedzí od 1,21 do 1,50.

Posúdenie stability svahu patrí v rámci geotechniky k náročným technickým problémom. K vyhodnoteniu stupňa stability sú využívané rôzne výpočtové metódy, vrátane silových metód, ktoré boli využité v práci. Vypovedajúca schopnosť výsledkov výpočtov, je do značnej miery daná spoľahlivosťou vstupných údajov výpočtu, ktoré môžu zahrňovať veľké množstvo neistôt plynúcich predovšetkým z komplikovaného charakteru a variability horninového prostredia. Jednou z možností minimalizácie týchto neistôt je využitie stochastických metód, medzi ktoré patrí aj v práci aplikovaná metóda LHS. Aplikácia stochastických metód modelovania môže významne prispieť k zvýšeniu objektivity získaných výsledkov a k spoľahlivejšiemu návrhu svahových telies, vrátane násypových telies. Spoľahlivejší návrh násypových telies má významný ekonomický dopad, budovanie stabilných svahov je menej nákladné než dodatočné stabilizovanie svahov, u ktorých došlo k narušení stability.

7. Zoznam obrázkov, grafov a tabuliek

Obrázok 1 Stekanie [8].....	11
Obrázok 2 - Typy rúcania [8].....	11
Obrázok 3 Typy zosuvov podľa tvaru šmykových plôch [8].....	12
Obrázok 4 - Obecné riešenie pre nesúdržné zeminy, svahom nepresakuje voda [9]	19
Obrázok 5 – Obecné riešenie pre nesúdržné zeminy, voda presakuje kolmo do svahu [9]	20
Obrázok 6 – Obecné riešenie pre nesúdržné zeminy, voda presakuje rovnobežne so svahom [9]	20
Obrázok 7 – Obecné riešenie pre nesúdržné zeminy, voda presakuje svahom pod obecným uhlom β [9].....	21
Obrázok 8 Pettersonova metóda [9]	22
Obrázok 9 Bishopova metóda	23
Obrázok 10 Spencerova metóda [10]	24
Obrázok 11 - Half-sine funkcia [10]	27
Obrázok 13 Statické schéma Sarmovej metódy [10]	28
Obrázok 14 Statické schéma Sachuňancovej metódy [10]	30
Obrázok 15 Statické schéma pôsobenia síl na bloku [10].....	31
Obrázok 16 Princíp výberu vzoriek metódy Monte Carlo [13]	34
Obrázok 17 Ukážka generácie metódou LHS [13]	35
Obrázok 18 Grafické znázornenie modelu svahu	36
Obrázok 19 Vstupné dáta pre náhodnú generáciu.....	37
Obrázok 20 Vstupné dáta výpočtu stability svahu	38
Obrázok 21 šmyková plocha po optimalizácii s uvažovaným stupňom bezpečnosti SFs 1,5..	39
Graf 1 - Histogram stability svahu	41
Graf 2 - Histogram súdržnosti	42
Graf 3 - Histogram uhlu vnútorného trenia	42
Tabuľka 1 Vstupné parametre pre výpočet stability	36
Tabuľka 2 Náhodná generácia vstupných parametrov	37
Tabuľka 3 Vypočítané hodnoty stupňa stability s popisom šmykovej plochy.....	40
Tabuľka 4 Výpočet hodnôt a pravdepodobnosti stupňa stability	41

8. Literatúra

- [1] HULLA, Jozef a Peter TURČEK. *Zakladanie stavieb*. Bratislava: Jaga group, 1998.
- [2] HULLA, Jozef. *Predpoklady a skutočnosť v geotechnickom inžinierstve*. Bratislava Jaga group, 2002.
- [3] ŠIMEK, Jiří. *Mechanika zemin*. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1990.
- [4] ZÁRUBA, Quido a Vojtěch MENCL. *Sesuvy a zabezpečování svahů*. Praha: Academia, 1969.
- [5] Nathanail, C.p., ROSENBAUM, m.s. *Probalistic slope stability assessment using Latin Hypercube sampling*. In *Proc. 7th ISRM Congress on Rock Mechanics*, 1991
- [6] Hruběšová, E., Aldorf, J., Ďuriš, L., Svoboda, J. *Pravděpodobnostní přístup ke statickému a stabilitěmu řešení ostění tunelu Válik*, In *Sborník konference Podzemní stavby Praha 2003*
- [7] MATAJSZ, Jiří. *Srovnání výsledků měření sedání vysokých násypů s předpoklady stanovenými numerickým modelováním*, Diplomová práce, FAST, VŠB – TUO [online]. Ostrava, 2016
- [8] URL: http://geotech.fce.vutbr.cz/studium/mech_hornin/mhig_8.pdf [online] [cit. 2018 – 02.04]
- [9] URL: <http://www.geotechnici.cz/wp-content/uploads/2012/08/MHZ-cviko-05.pdf> [online] [cit. 2018 – 03.29]
- [10] URL: <https://www.fine.cz/napoveda/geo5/cs/stabilita-svahu-01/> [online] [cit. 2018 – 04.20]
- [11] URL: https://www.researchgate.net/publication/265387102_System_probabilistic_stability_analysis_of_soil_slopes_using_Gaussian_process_regression_with_Latin_hypercube_sampling [online] [cit. 2018 – 04.21]
- [12] URL: https://www.ita-aitec.cz/files/tunel/2012/4/tunel_4_12-13.pdf [online] [cit. 2018 – 04.21]
- [13] URL: <http://docplayer.cz/18927927-Sbornik-vedeckych-praci-vysoke-skoly-banske-technicke-univerzity-ostava-transactions-of-the-vsb-technical-university-of-ostava.html> [online] [cit.2018 – 04.25]

9. Zoznam príloh

- Príloha č. 1 – Výstupné dáta z programu GEO 5 – výpočet stupňa stability č. 1
- Príloha č. 2 – Výstupné dáta z programu GEO 5 – výpočet stupňa stability č. 2
- Príloha č. 3 – Výstupné dáta z programu GEO 5 – výpočet stupňa stability č. 3
- Príloha č. 4 – Výstupné dáta z programu GEO 5 – výpočet stupňa stability č. 4
- Príloha č. 5 – Výstupné dáta z programu GEO 5 – výpočet stupňa stability č. 5
- Príloha č. 6 – Výstupné dáta z programu GEO 5 – výpočet stupňa stability č. 6
- Príloha č. 7 – Výstupné dáta z programu GEO 5 – výpočet stupňa stability č. 7
- Príloha č. 8 – Výstupné dáta z programu GEO 5 – výpočet stupňa stability č. 8
- Príloha č. 9 – Výstupné dáta z programu GEO 5 – výpočet stupňa stability č. 9
- Príloha č. 10 – Výstupné dáta z programu GEO 5 – výpočet stupňa stability č. 10
- Príloha č. 11 – Výstupné dáta z programu GEO 5 – výpočet stupňa stability č. 11
- Príloha č. 12 – Výstupné dáta z programu GEO 5 – výpočet stupňa stability č. 12
- Príloha č. 13 – Výstupné dáta z programu GEO 5 – výpočet stupňa stability č. 13
- Príloha č. 14 – Výstupné dáta z programu GEO 5 – výpočet stupňa stability č. 14
- Príloha č. 15 – Výstupné dáta z programu GEO 5 – výpočet stupňa stability č. 15
- Príloha č. 16 – Výstupné dáta z programu GEO 5 – výpočet stupňa stability č. 16
- Príloha č. 17 – Výstupné dáta z programu GEO 5 – výpočet stupňa stability č. 17
- Príloha č. 18 – Výstupné dáta z programu GEO 5 – výpočet stupňa stability č. 18
- Príloha č. 19 – Výstupné dáta z programu GEO 5 – výpočet stupňa stability č. 19
- Príloha č. 20 – Výstupné dáta z programu GEO 5 – výpočet stupňa stability č. 20

Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava

Fakulta stavebná

Katedra geotechniky a podzemného staviteľstva

Stochastické vyhodnotenie stability svahu

Stochastic Assessment of Slope stability

Prílohy

Študent:

Martin Kultán

Vedúci bakalárskej práce:

doc. RNDr. Eva Hruběšová, Ph.D.

Príloha č. 1 – Výstupné dáta z programu GEO 5 – výpočet stupňa stability č. 1

Martin Kultán	Stabilita svahu 1
---------------	----------------------

Výpočet stability svahu

Vstupní data

Projekt

Akce : Stabilita svahu
Část : 1
Vypracoval : Martin Kultán
Datum : 12.3.2018

Nastavení

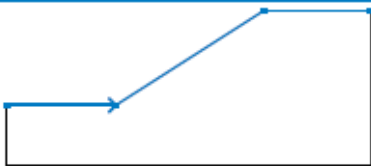
(zadané pro aktuální úlohu)

Stabilitní výpočty


Výpočet zemětřesení : Standard
Metodika posouzení : stupně bezpečnosti

Stupně bezpečnosti		
Trvalá návrhová situace		
Stupeň bezpečnosti :	$SF_s =$	1,50 [-]

Rozhraní

Číslo	Umístění rozhraní	Souřadnice bodů rozhraní [m]					
		x	z	x	z	x	z
1		0,00	5,00	9,00	5,00	21,20	12,80
		30,00	12,80				

Parametry zemin - efektivní napjatost

Číslo	Název	Vzorek	φ_{ef} [°]	c_{ef} [kPa]	γ [kN/m³]
1	íl písčitý		31,40	3,90	21,00

Parametry zemin - vztlak

Číslo	Název	Vzorek	γ_{sat} [kN/m³]	γ_s [kN/m³]	n [-]
1	íl písčitý		21,00		

Parametry zemin

íl písčitý

Objemová tíha : $\gamma = 21,00 \text{ kN/m}^3$
 Napjatost : efektivní
 Úhel vnitřního tření : $\varphi_{ef} = 31,40^\circ$
 Soudržnost zeminy : $c_{ef} = 3,90 \text{ kPa}$
 Obj.tíha sat.zeminy : $\gamma_{sat} = 21,00 \text{ kN/m}^3$

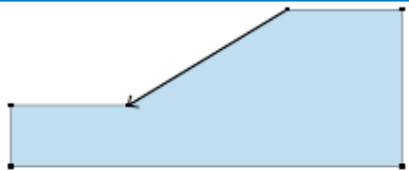


Pouze pro nekomerční využití



Martin Kultán	Stabilita svahu 1
---------------	----------------------

Přiřazení a plochy

Číslo	Umístění plochy	Souřadnice bodů plochy [m]				Přiřazená zemina
		x	z	x	z	
1		21,20	12,80	9,00	5,00	íl písčtý
		0,00	5,00	0,00	0,00	
		30,00	0,00	30,00	12,80	

Nastavení výpočtu fáze

Návrhová situace : trvalá

Výsledky (Fáze budování 1)

Výpočet 1

Kruhová smyková plocha

Parametry smykové plochy					
Střed :	x =	8,76 [m]	Úhly :	$\alpha_1 =$	0,93 [°]
	z =	20,04 [m]		$\alpha_2 =$	61,22 [°]
Poloměr :	R =	15,04 [m]			
Smyková plocha po optimalizaci.					

Posouzení stability svahu (Fellenius / Petterson)

Sumace aktivních sil : $F_a = 241,04$ kN/m

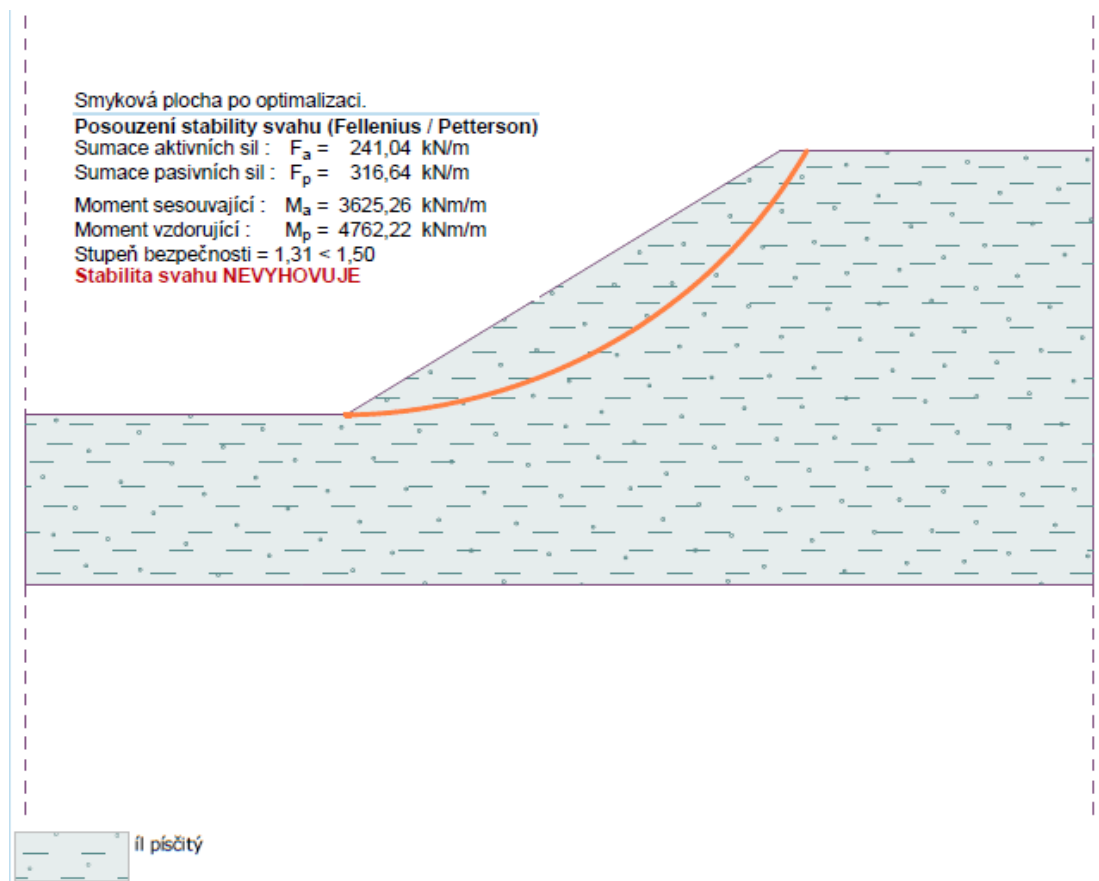
Sumace pasivních sil : $F_p = 316,64$ kN/m

Moment sesouvající : $M_a = 3625,26$ kNm/m

Moment vzdorující : $M_p = 4762,22$ kNm/m

Stupeň bezpečnosti = $1,31 < 1,50$

Stabilita svahu NEVYHOVUJE



Príloha č. 2 – Výstupné dáta z programu GEO 5 – výpočet stupňa stability č. 2

Martin Kultán	Stabilita svahu 1
---------------	----------------------

Výpočet stability svahu

Vstupní data

Projekt

Akce : Stabilita svahu
Část : 1
Vypracoval : Martin Kultán
Datum : 12.3.2018

Nastavení

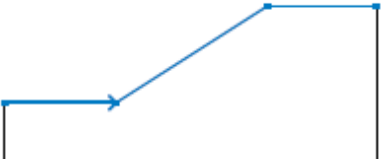
(zadané pro aktuální úlohu)

Stabilitní výpočty


Výpočet zemětřesení : Standard
Metodika posouzení : stupně bezpečnosti

Stupně bezpečnosti			
Trvalá návrhová situace			
Stupeň bezpečnosti :	$SF_s =$	1,50	[-]


Rozhraní

Číslo	Umístění rozhraní	Souřadnice bodů rozhraní [m]					
		x	z	x	z	x	z
1		0,00	5,00	9,00	5,00	21,20	12,80
		30,00	12,80				

Parametry zemin - efektivní napjatost

Číslo	Název	Vzorek	φ_{ef} [°]	c_{ef} [kPa]	γ [kN/m ³]
1	íl písčitý		31,70	4,60	21,00

Parametry zemin - vztlak

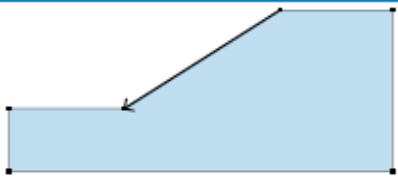

Číslo	Název	Vzorek	γ_{sat} [kN/m ³]	γ_s [kN/m ³]	n [-]
1	íl písčitý		21,00		

Parametry zemin

íl písčitý

Objemová tíha : $\gamma = 21,00 \text{ kN/m}^3$
Napjatost : efektivní
Úhel vnitřního tření : $\varphi_{ef} = 31,70^\circ$
Soudržnost zeminy : $c_{ef} = 4,60 \text{ kPa}$
Obj.tíha sat.zeminy : $\gamma_{sat} = 21,00 \text{ kN/m}^3$

Přiřazení a plochy

Číslo	Umístění plochy	Souřadnice bodů plochy [m]				Přiřazená zemina
		x	z	x	z	
1		21,20	12,80	9,00	5,00	íl písčitý 
		0,00	5,00	0,00	0,00	
		30,00	0,00	30,00	12,80	

Nastavení výpočtu fáze

Návrhová situace : trvalá

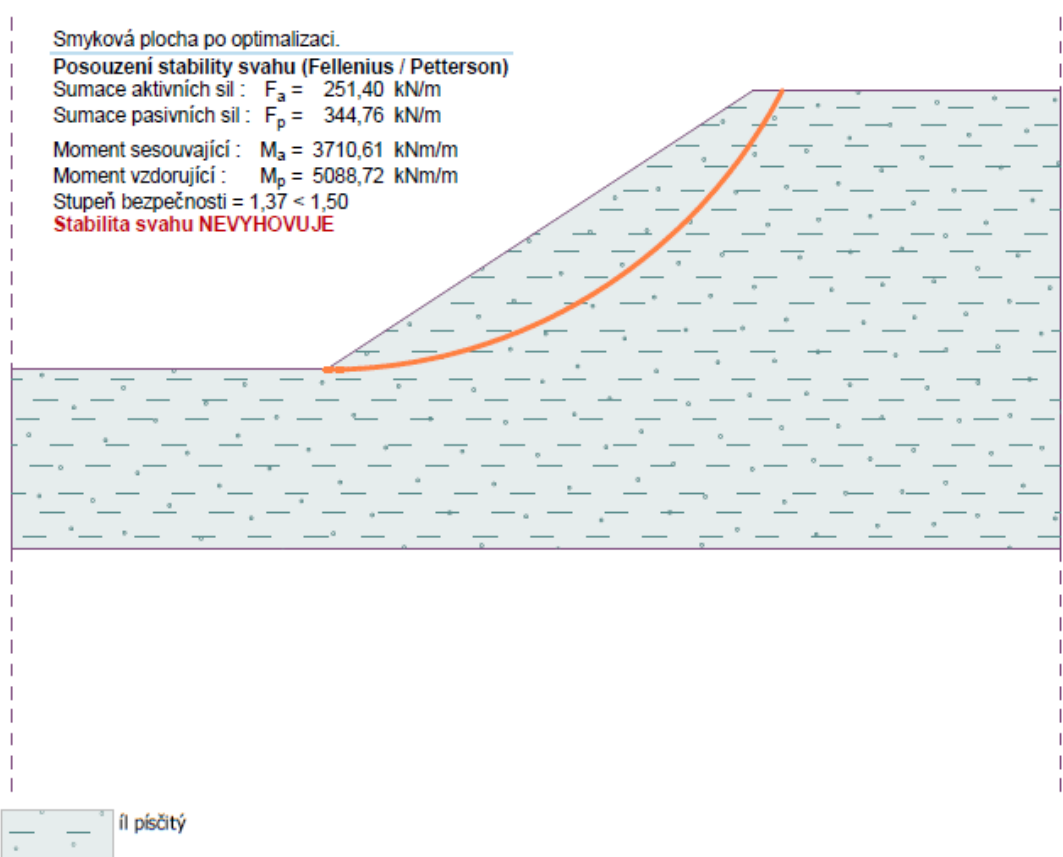
Výsledky (Fáze budování 1)

Výpočet 1

Kruhová smyková plocha

Parametry smykové plochy					
Střed :	x =	9,02 [m]	Úhly :	$\alpha_1 =$	-0,08 [°]
	z =	19,76 [m]		$\alpha_2 =$	61,87 [°]
Poloměr :	R =	14,76 [m]			
Smyková plocha po optimalizaci.					

Posouzení stability svahu (Fellenius / Petterson)

Sumace aktivních sil : $F_a = 251,40$ kN/mSumace pasivních sil : $F_p = 344,76$ kN/mMoment sesouvající : $M_a = 3710,61$ kNm/mMoment vzdorující : $M_p = 5088,72$ kNm/mStupeň bezpečnosti = $1,37 < 1,50$ **Stabilita svahu NEVYHOVUJE**

Príloha č.3 – Výstupné dáta z programu GEO 5 – výpočet stupňa stability č. 3

Martin Kultán	Stabilita svahu 1
---------------	----------------------

Výpočet stability svahu

Vstupní data

Projekt

Akce : Stabilita svahu
Část : 1
Vypracoval : Martin Kultán
Datum : 12.3.2018

Nastavení

(zadané pro aktuální úlohu)

Stabilitní výpočty

Výpočet zemětřesení : Standard
Metodika posouzení : stupně bezpečnosti

Stupně bezpečnosti			
Trvalá návrhová situace			
Stupeň bezpečnosti :	SF _s =	1,50	[-]

Rozhraní

Číslo	Umístění rozhraní	Souřadnice bodů rozhraní [m]					
		x	z	x	z	x	z
1		0,00	5,00	9,00	5,00	21,20	12,80
		30,00	12,80				

Parametry zemin - efektivní napjatost

Číslo	Název	Vzorek	φ _{ef} [°]	c _{ef} [kPa]	γ [kN/m³]
1	íl písčitý		32,10	4,00	21,00

Parametry zemin - vztlak

Číslo	Název	Vzorek	γ _{sat} [kN/m³]	γ _s [kN/m³]	n [-]
1	íl písčitý		21,00		

Parametry zemin

íl písčitý



Objemová tíha : γ = 21,00 kN/m³
Napjatost : efektivní
Úhel vnitřního tření : φ_{ef} = 32,10 °
Soudržnost zeminy : c_{ef} = 4,00 kPa
Obj.tíha sat.zeminy : γ_{sat} = 21,00 kN/m³



Pouze pro nekomerční využití



Přiřazení a plochy

Číslo	Umístění plochy	Souřadnice bodů plochy [m]				Přiřazená zemina
		x	z	x	z	
1		21,20	12,80	9,00	5,00	íl písčitý 
		0,00	5,00	0,00	0,00	
		30,00	0,00	30,00	12,80	

Nastavení výpočtu fáze

Návrhová situace : trvalá

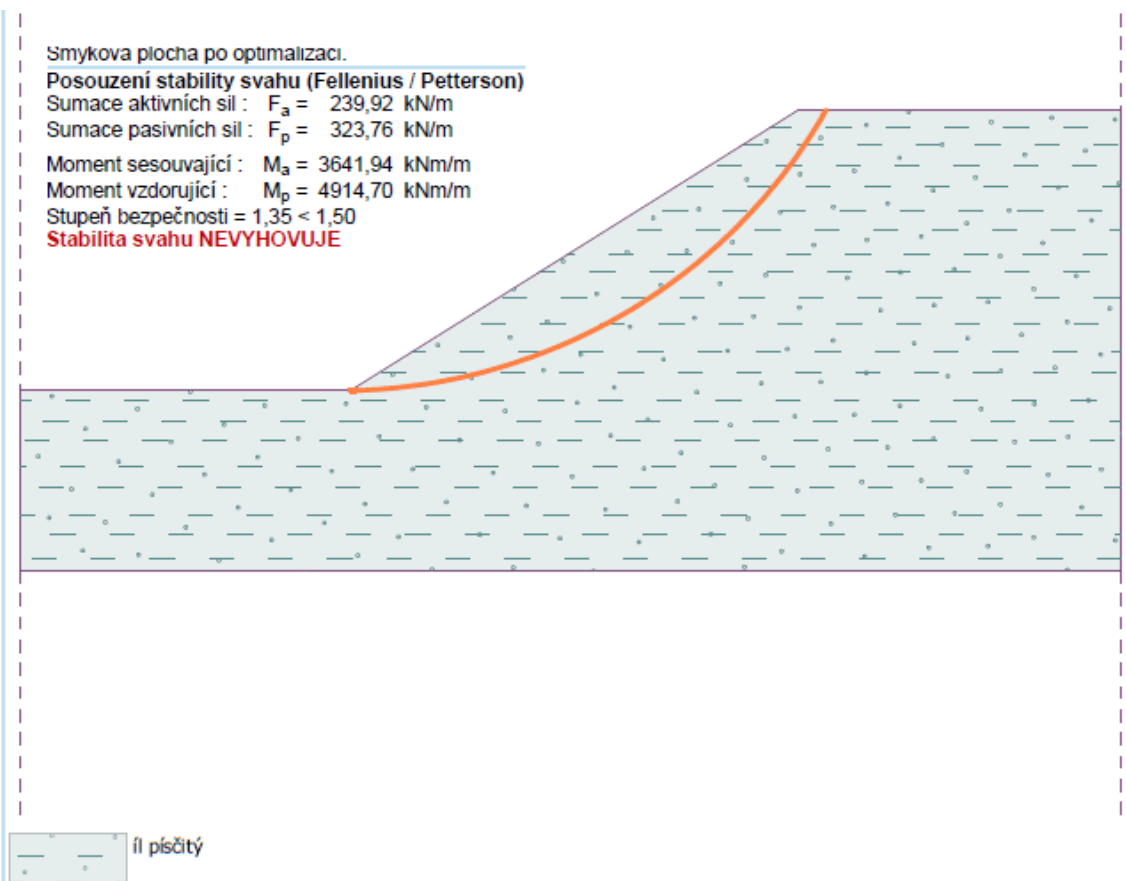
Výsledky (Fáze budování 1)

Výpočet 1

Kruhová smyková plocha

Parametry smykové plochy					
Střed :	x =	8,69 [m]	Úhly :	$\alpha_1 =$	1,19 [°]
	z =	20,18 [m]		$\alpha_2 =$	60,91 [°]
Poloměr :	R =	15,18 [m]			
Smyková plocha po optimalizaci.					

Posouzení stability svahu (Fellenius / Petterson)

Sumace aktivních sil : $F_a = 239,92$ kN/mSumace pasivních sil : $F_p = 323,76$ kN/mMoment sesouvající : $M_a = 3641,94$ kNm/mMoment vzdorující : $M_p = 4914,70$ kNm/mStupeň bezpečnosti = $1,35 < 1,50$ **Stabilita svahu NEVYHOVUJE**

Príloha č. 4 – Výstupné dáta z programu GEO 5 – výpočet stupňa stability č. 4

Martin Kultán	Stabilita svahu
	1

Výpočet stability svahu

Vstupní data

Projekt

Akce : Stabilita svahu
 Část : 1
 Vypracoval : Martin Kultán
 Datum : 12.3.2018

Nastavení

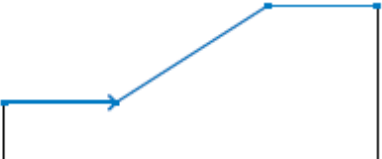
(zadané pro aktuální úlohu)

Stabilitní výpočty


Výpočet zemětřesení : Standard
 Metodika posouzení : stupně bezpečnosti

Stupně bezpečnosti		
Trvalá návrhová situace		
Stupeň bezpečnosti :	$SF_s =$	1,50 [-]


Rozhraní

Číslo	Umístění rozhraní	Souřadnice bodů rozhraní [m]					
		x	z	x	z	x	z
1		0,00	5,00	9,00	5,00	21,20	12,80
		30,00	12,80				

Parametry zemín - efektivní napjatost

Číslo	Název	Vzorek	φ_{ef} [°]	c_{ef} [kPa]	γ [kN/m ³]
1	íl písčitý		31,20	4,12	21,00

Parametry zemín - vztlak

Číslo	Název	Vzorek	γ_{sat} [kN/m ³]	γ_s [kN/m ³]	n [-]
1	íl písčitý		21,00		

Parametry zemín

íl písčitý

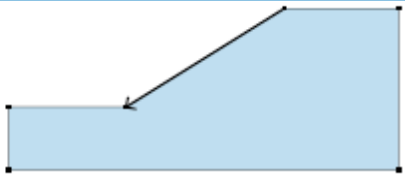
Objemová tíha : $\gamma = 21,00 \text{ kN/m}^3$
 Napjatost : efektivní
 Úhel vnitřního tření : $\varphi_{ef} = 31,20^\circ$
 Soudržnost zeminy : $c_{ef} = 4,12 \text{ kPa}$
 Obj.tíha sat.zeminy : $\gamma_{sat} = 21,00 \text{ kN/m}^3$



Pouze pro nekomerční využití



Přiřazení a plochy

Číslo	Umístění plochy	Souřadnice bodů plochy [m]				Přiřazená zemina
		x	z	x	z	
1		21,20	12,80	9,00	5,00	íl písčtý
		0,00	5,00	0,00	0,00	
		30,00	0,00	30,00	12,80	

Nastavení výpočtu fáze

Návrhová situace : trvalá

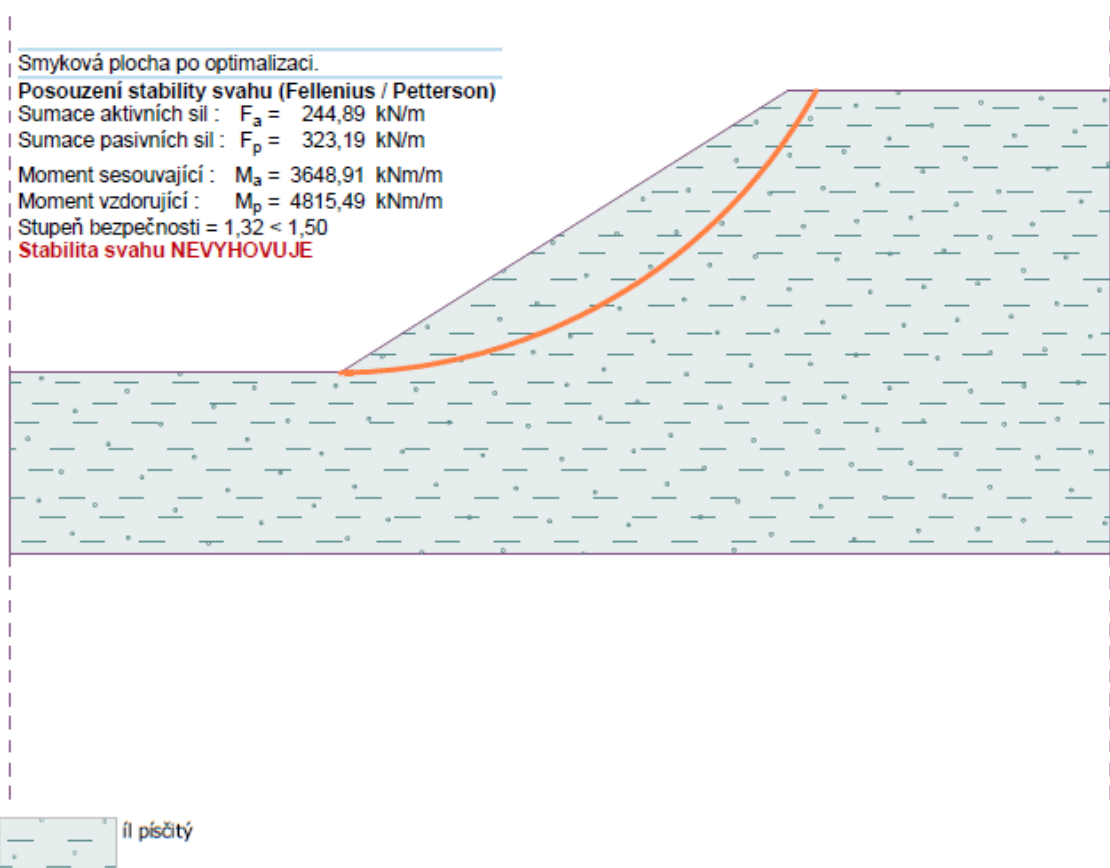
Výsledky (Fáze budování 1)

Výpočet 1

Kruhová smyková plocha

Parametry smykové plochy					
Střed :	x =	8,87 [m]	Úhly :	$\alpha_1 =$	0,50 [°]
	z =	19,90 [m]		$\alpha_2 =$	61,54 [°]
Poloměr :	R =	14,90 [m]			
Smyková plocha po optimalizaci.					

Posouzení stability svahu (Fellenius / Petterson)

Sumace aktivních sil : $F_a = 244,89$ kN/mSumace pasivních sil : $F_p = 323,19$ kN/mMoment sesouvající : $M_a = 3648,91$ kNm/mMoment vzdorující : $M_p = 4815,49$ kNm/mStupeň bezpečnosti = $1,32 < 1,50$ **Stabilita svahu NEVYHOVUJE**

Príloha č. 5 – Výstupné dáta z programu GEO 5 – výpočet stupňa stability č. 5

Martin Kultán	Stabilita svahu 1
---------------	----------------------

Výpočet stability svahu

Vstupní data

Projekt

Akce : Stabilita svahu
Část : 1
Vypracoval : Martin Kultán
Datum : 12.3.2018

Nastavení

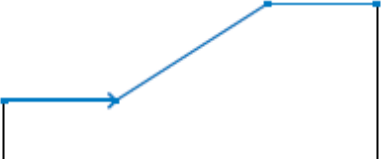
(zadané pro aktuální úlohu)

Stabilitní výpočty


Výpočet zemětřesení : Standard
Metodika posouzení : stupně bezpečnosti

Stupně bezpečnosti		
Trvalá návrhová situace		
Stupeň bezpečnosti :	$SF_s =$	1,50 [-]

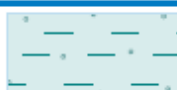
Rozhraní

Číslo	Umístění rozhraní	Souřadnice bodů rozhraní [m]					
		x	z	x	z	x	z
1		0,00	5,00	9,00	5,00	21,20	12,80
		30,00	12,80				

Parametry zemin - efektivní napjatost

Číslo	Název	Vzorek	φ_{ef} [°]	c_{ef} [kPa]	γ [kN/m ³]
1	íl písčitý		33,00	3,40	21,00

Parametry zemin - vztlak

Číslo	Název	Vzorek	γ_{sat} [kN/m ³]	γ_s [kN/m ³]	n [-]
1	íl písčitý		21,00		

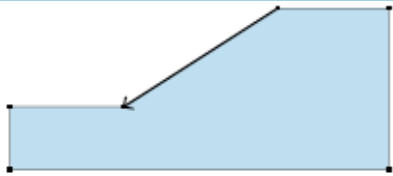

Parametry zemin

íl písčitý

Objemová tíha : $\gamma = 21,00 \text{ kN/m}^3$
 Napjatost : efektivní
 Úhel vnitřního tření : $\varphi_{ef} = 33,00^\circ$
 Soudržnost zeminy : $c_{ef} = 3,40 \text{ kPa}$
 Obj.tíha sat.zeminy : $\gamma_{sat} = 21,00 \text{ kN/m}^3$

Martin Kultán	Stabilita svahu 1
---------------	----------------------

Přiřazení a plochy

Číslo	Umístění plochy	Souřadnice bodů plochy [m]				Přiřazená zemina
		x	z	x	z	
1		21,20	12,80	9,00	5,00	íl písčitý
		0,00	5,00	0,00	0,00	
		30,00	0,00	30,00	12,80	
						

Nastavení výpočtu fáze

Návrhová situace : trvalá

Výsledky (Fáze budování 1)

Výpočet 1

Kruhová smyková plocha

Parametry smykové plochy					
Střed :	x =	8,52 [m]	Úhly :	$\alpha_1 =$	1,90 [°]
	z =	19,90 [m]		$\alpha_2 =$	61,54 [°]
Poloměr :	R =	14,90 [m]			
Smyková plocha po přerušené optimalizaci.					

Posouzení stability svahu (Fellenius / Petterson)

Sumace aktivních sil : $F_a = 220,28 \text{ kN/m}$

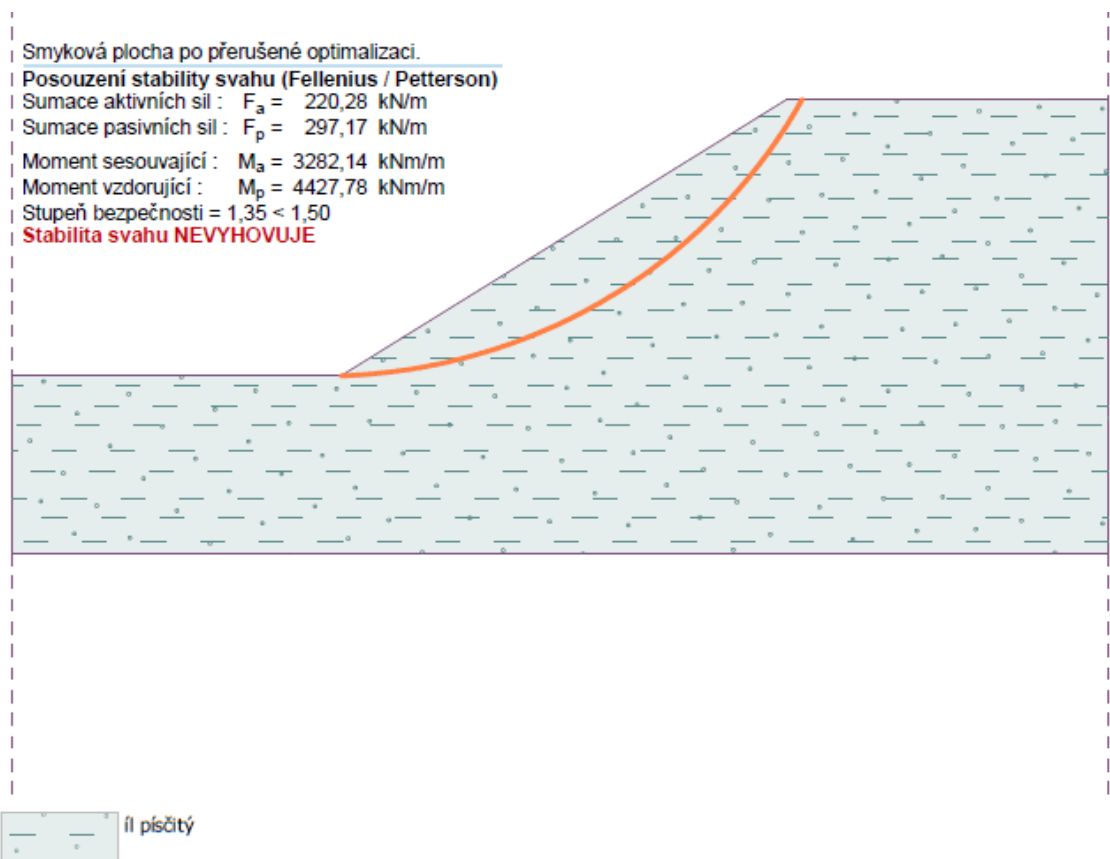
Sumace pasivních sil : $F_p = 297,17 \text{ kN/m}$

Moment sesouvající : $M_a = 3282,14 \text{ kNm/m}$

Moment vzdorující : $M_p = 4427,78 \text{ kNm/m}$

Stupeň bezpečnosti = $1,35 < 1,50$

Stabilita svahu NEVYHOVUJE



Príloha č. 6 – Výstupné dáta z programu GEO 5 – výpočet stupňa stability č. 6

Martin Kultán	Stabilita svahu 1
---------------	----------------------

Výpočet stability svahu

Vstupní data

Projekt

Akce : Stabilita svahu
Část : 1
Vypracoval : Martin Kultán
Datum : 12.3.2018

Nastavení

(zadané pro aktuální úlohu)


Stabilitní výpočty

Výpočet zemětřesení : Standard


Metodika posouzení : stupně bezpečnosti

Stupně bezpečnosti		
Trvalá návrhová situace		
Stupeň bezpečnosti :	$SF_s =$	1,50 [-]

Rozhraní

Číslo	Umístění rozhraní	Souřadnice bodů rozhraní [m]					
		x	z	x	z	x	z
1		0,00	5,00	9,00	5,00	21,20	12,80
		30,00	12,80				

Parametry zemin - efektivní napjatost

Číslo	Název	Vzorek	φ_{ef} [°]	c_{ef} [kPa]	γ [kN/m ³]
1	íl písčitý		30,10	3,50	21,00

Parametry zemin - vztlak

Číslo	Název	Vzorek	γ_{sat} [kN/m ³]	γ_s [kN/m ³]	n [-]
1	íl písčitý		21,00		

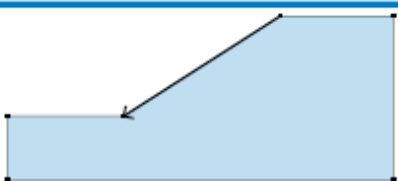

Parametry zemin

íl písčitý

Objemová tíha : $\gamma = 21,00 \text{ kN/m}^3$
 Napjatost : efektivní
 Úhel vnitřního tření : $\varphi_{ef} = 30,10^\circ$
 Soudržnost zeminy : $c_{ef} = 3,50 \text{ kPa}$
 Obj.tíha sat.zeminy : $\gamma_{sat} = 21,00 \text{ kN/m}^3$

!	Pouze pro nekomerční využití	!
		1

Přirazení a plochy

Číslo	Umístění plochy	Souřadnice bodů plochy [m]				Přirazená zemina
		x	z	x	z	
1		21,20	12,80	9,00	5,00	íl písčitý 
		0,00	5,00	0,00	0,00	
		30,00	0,00	30,00	12,80	

Nastavení výpočtu fáze

Návrhová situace : trvalá

Výsledky (Fáze budování 1)

Výpočet 1

Kruhová smyková plocha

Parametry smykové plochy					
Střed :	x =	8,01 [m]	Úhly :	$\alpha_1 =$	-4,34 [°]
	z =	22,37 [m]		$\alpha_2 =$	56,68 [°]
Poloměr :	R =	17,42 [m]			
Smyková plocha po přerušené optimalizaci.					

Posouzení stability svahu (Fellenius / Petterson)

Sumace aktivních sil : $F_a = 254,15$ kN/m

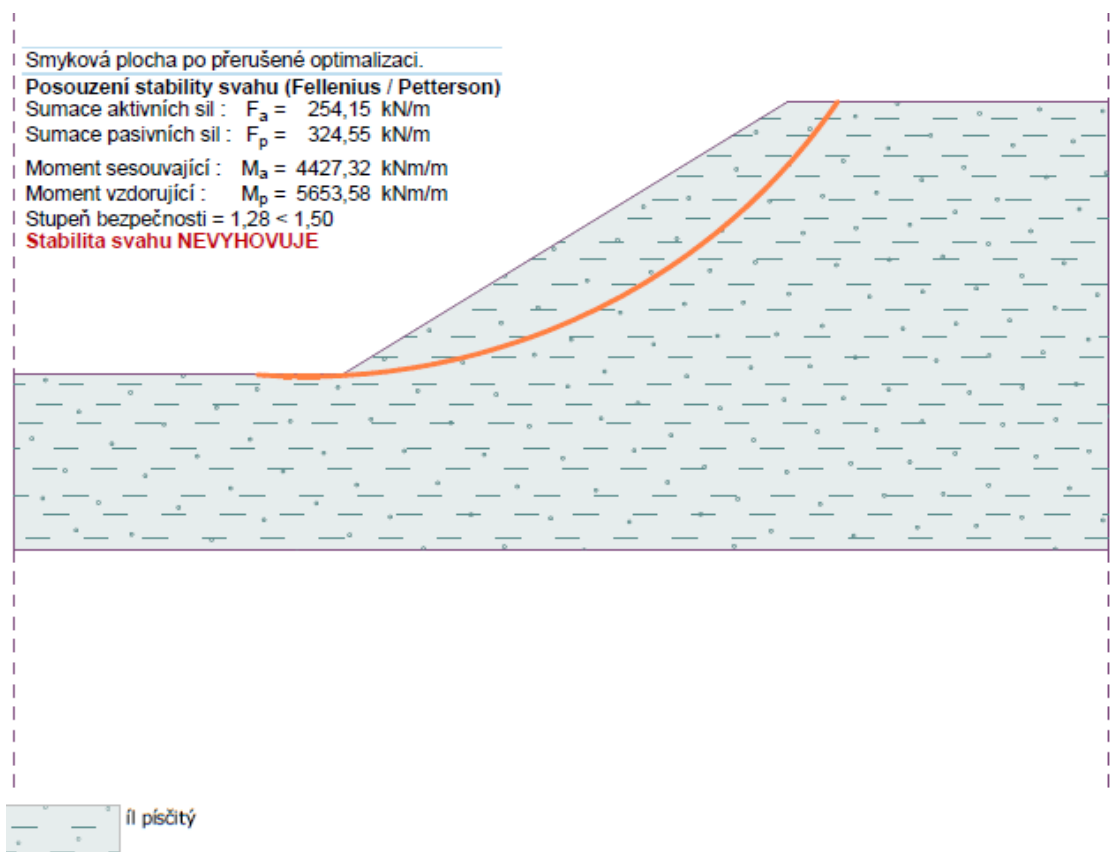
Sumace pasivních sil : $F_p = 324,55$ kN/m

Moment sesouvající : $M_a = 4427,32$ kNm/m

Moment vzdorující : $M_p = 5653,58$ kNm/m

Stupeň bezpečnosti = 1,28 < 1,50

Stabilita svahu NEVYHOVUJE



Príloha č. 7 – Výstupné dáta z programu GEO 5 – výpočet stupňa stability č. 7

Martin Kultán	Stabilita svahu 1
---------------	----------------------

Výpočet stability svahu

Vstupní data

Projekt

Akce : Stabilita svahu
Část : 1
Vypracoval : Martin Kultán
Datum : 12.3.2018

Nastavení

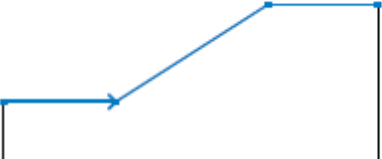
(zadané pro aktuální úlohu)

Stabilitní výpočty


Výpočet zemětřesení : Standard
Metodika posouzení : stupně bezpečnosti

Stupně bezpečnosti		
Trvalá návrhová situace		
Stupeň bezpečnosti :	$SF_s =$	1,50 [-]


Rozhraní

Číslo	Umístění rozhraní	Souřadnice bodů rozhraní [m]					
		x	z	x	z	x	z
1		0,00	5,00	9,00	5,00	21,20	12,80
		30,00	12,80				

Parametry zemín - efektivní napjatost

Číslo	Název	Vzorek	φ_{ef} [°]	c_{ef} [kPa]	γ [kN/m³]
1	íl písčitý		30,90	3,80	21,00

Parametry zemín - vztlak

Číslo	Název	Vzorek	γ_{sat} [kN/m³]	γ_s [kN/m³]	n [-]
1	íl písčitý		21,00		

Parametry zemín

íl písčitý

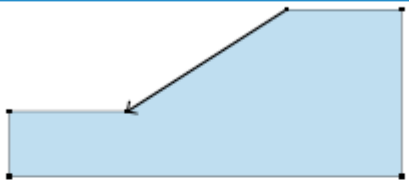
Objemová tíha : $\gamma = 21,00 \text{ kN/m}^3$
Napjatost : efektivní
Úhel vnitřního tření : $\varphi_{ef} = 30,90^\circ$
Soudržnost zeminy : $c_{ef} = 3,80 \text{ kPa}$
Obj.tíha sat.zeminy : $\gamma_{sat} = 21,00 \text{ kN/m}^3$



Pouze pro nekomerční využití



Přiřazení a plochy

Číslo	Umístění plochy	Souřadnice bodů plochy [m]				Přiřazená zemina
		x	z	x	z	
1		21,20	12,80	9,00	5,00	il písčitéý
		0,00	5,00	0,00	0,00	
		30,00	0,00	30,00	12,80	

Nastavení výpočtu fáze

Návrhová situace : trvalá

Výsledky (Fáze budování 1)

Výpočet 1

Kruhová smyková plocha

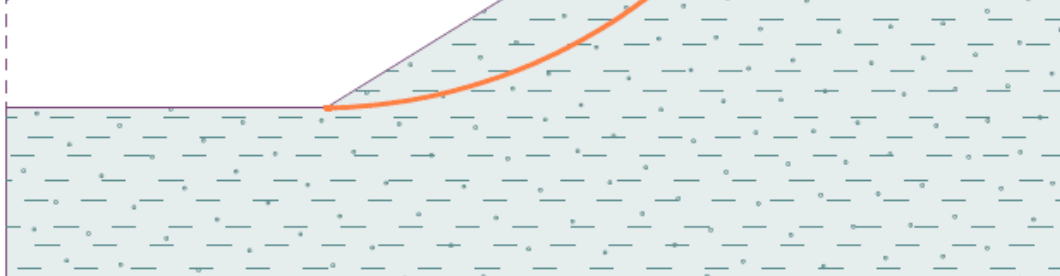
Parametry smykové plochy					
Střed :	x =	8,73 [m]	Úhly :	$\alpha_1 =$	1,04 [°]
	z =	20,08 [m]		$\alpha_2 =$	61,13 [°]
Poloměr :	R =	15,08 [m]			
Smyková plocha po přerušené optimalizaci.					

Posouzení stability svahu (Fellenius / Petterson)

Sumace aktivních sil : $F_a = 240,02$ kN/mSumace pasivních sil : $F_p = 308,78$ kN/mMoment sesouvající : $M_a = 3619,50$ kNm/mMoment vzdorující : $M_p = 4656,38$ kNm/mStupeň bezpečnosti = $1,29 < 1,50$ **Stabilita svahu NEVYHOVUJE**

Smyková plocha po přerušené optimalizaci.

Posouzení stability svahu (Fellenius / Petterson)

Sumace aktivních sil : $F_a = 240,02$ kN/mSumace pasivních sil : $F_p = 308,78$ kN/mMoment sesouvající : $M_a = 3619,50$ kNm/mMoment vzdorující : $M_p = 4656,38$ kNm/mStupeň bezpečnosti = $1,29 < 1,50$ **Stabilita svahu NEVYHOVUJE**

il písčitéý

Príloha č. 8 – Výstupné dáta z programu GEO 5 – výpočet stupňa stability č. 8

Martin Kultán	Stabilita svahu 1
---------------	----------------------

Výpočet stability svahu

Vstupní data

Projekt

Akce : Stabilita svahu
Část : 1
Vypracoval : Martin Kultán
Datum : 12.3.2018

Nastavení


(zadané pro aktuální úlohu)

Stabilitní výpočty

Výpočet zemětřesení : Standard
Metodika posouzení : stupně bezpečnosti

Stupně bezpečnosti		
Trvalá návrhová situace		
Stupeň bezpečnosti :	$SF_s =$	1,50 [-]

Rozhraní

Číslo	Umístění rozhraní	Souřadnice bodů rozhraní [m]					
		x	z	x	z	x	z
1		0,00	5,00	9,00	5,00	21,20	12,80
		30,00	12,80				

Parametry zemin - efektivní napjatost

Číslo	Název	Vzorek	φ_{ef} [°]	c_{ef} [kPa]	γ [kN/m ³]
1	íl písčitý		30,50	2,70	21,00

Parametry zemin - vztlak

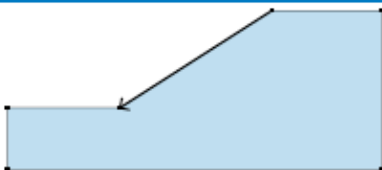

Číslo	Název	Vzorek	γ_{sat} [kN/m ³]	γ_s [kN/m ³]	n [-]
1	íl písčitý		21,00		

Parametry zemin

íl písčitý

Objemová tíha : $\gamma = 21,00 \text{ kN/m}^3$
Napjatost : efektivní
Úhel vnitřního tření : $\varphi_{ef} = 30,50^\circ$
Soudržnost zeminy : $c_{ef} = 2,70 \text{ kPa}$
Obj.tíha sat.zeminy : $\gamma_{sat} = 21,00 \text{ kN/m}^3$

Přiřazení a plochy

Číslo	Umístění plochy	Souřadnice bodů plochy [m]				Přiřazená zemina
		x	z	x	z	
1		21,20	12,80	9,00	5,00	il písčítý
		0,00	5,00	0,00	0,00	
		30,00	0,00	30,00	12,80	
						

Nastavení výpočtu fáze

Návrhová situace : trvalá

Výsledky (Fáze budování 1)

Výpočet 1

Kruhová smyková plocha

Parametry smykové plochy					
Střed :	x =	7,08 [m]	Úhly :	$\alpha_1 =$	6,71 [°]
	z =	22,45 [m]		$\alpha_2 =$	56,51 [°]
Poloměr :	R =	17,49 [m]			
Smyková plocha po přerušené optimalizaci.					

Posouzení stability svahu (Fellenius / Petterson)

Sumace aktivních sil : $F_a = 189,02 \text{ kN/m}$

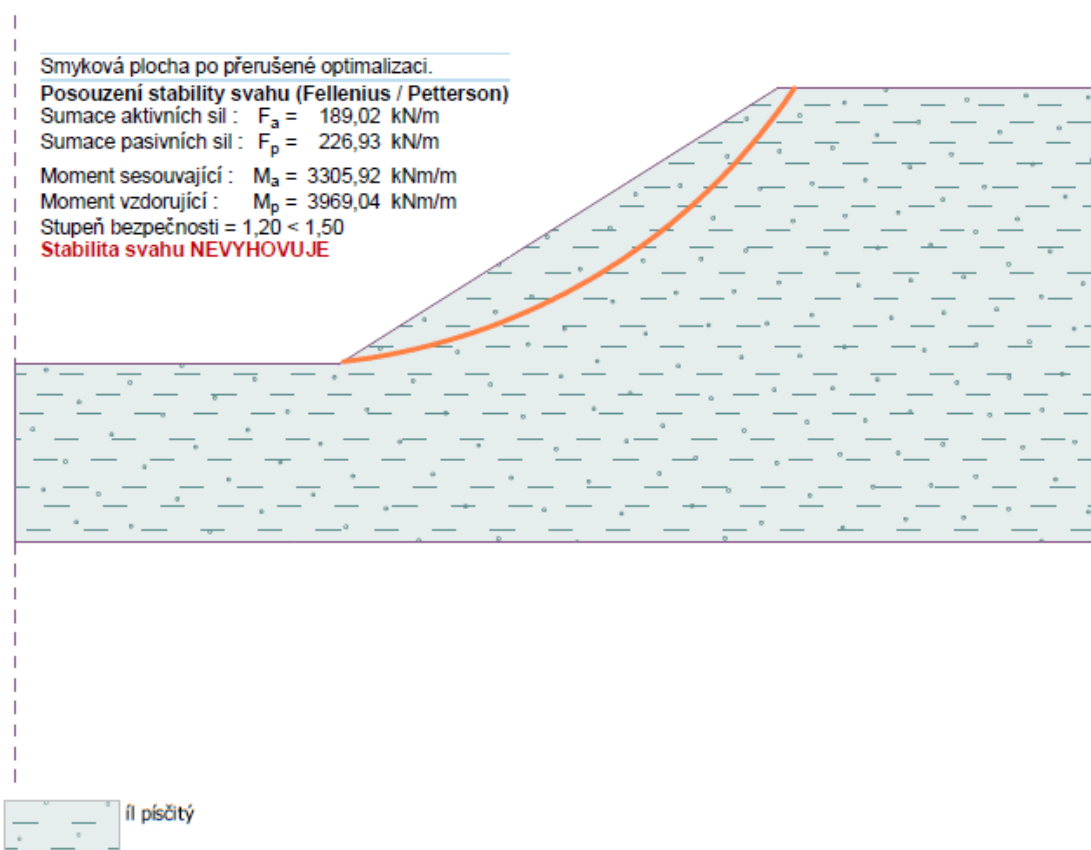
Sumace pasivních sil : $F_p = 226,93 \text{ kN/m}$

Moment sesouvající : $M_a = 3305,92 \text{ kNm/m}$

Moment vzdorující : $M_p = 3969,04 \text{ kNm/m}$

Stupeň bezpečnosti = $1,20 < 1,50$

Stabilita svahu NEVYHOVUJE



Príloha č. 9 – Výstupné dáta z programu GEO 5 – výpočet stupňa stability č. 9

Martin Kultán	Stabilita svahu
	1

Výpočet stability svahu

Vstupní data

Projekt

Akce : Stabilita svahu
 Část : 1
 Vypracoval : Martin Kultán
 Datum : 12.3.2018

Nastavení

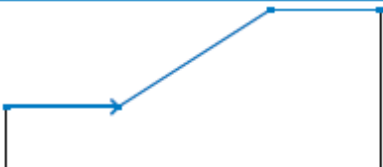
(zadané pro aktuální úlohu)

Stabilitní výpočty


Výpočet zemětřesení : Standard
 Metodika posouzení : stupně bezpečnosti

Stupně bezpečnosti			
Trvalá návrhová situace			
Stupeň bezpečnosti :	$SF_s =$	1,50	[-]


Rozhraní

Číslo	Umístění rozhraní	Souřadnice bodů rozhraní [m]					
		x	z	x	z	x	z
1		0,00	5,00	9,00	5,00	21,20	12,80
		30,00	12,80				

Parametry zemin - efektivní napjatost

Číslo	Název	Vzorek	φ_{ef} [°]	c_{ef} [kPa]	γ [kN/m³]
1	íl písčitý		32,30	3,70	21,00

Parametry zemin - vztlak

Číslo	Název	Vzorek	γ_{sat} [kN/m³]	γ_s [kN/m³]	n [-]
1	íl písčitý		21,00		

Parametry zemin

íl písčitý

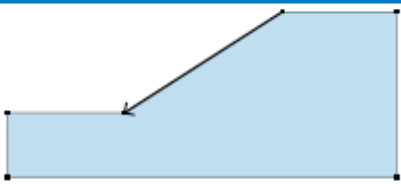

Objemová tíha : $\gamma = 21,00 \text{ kN/m}^3$
 Napjatost : efektivní
 Úhel vnitřního tření : $\varphi_{ef} = 32,30^\circ$
 Soudržnost zeminy : $c_{ef} = 3,70 \text{ kPa}$
 Obj.tíha sat.zeminy : $\gamma_{sat} = 21,00 \text{ kN/m}^3$



Pouze pro nekomerční využití



Přiřazení a plochy

Číslo	Umístění plochy	Souřadnice bodů plochy [m]				Přiřazená zemina
		x	z	x	z	
1		21,20	12,80	9,00	5,00	íl písčtý 
		0,00	5,00	0,00	0,00	
		30,00	0,00	30,00	12,80	

Nastavení výpočtu fáze

Návrhová situace : trvalá

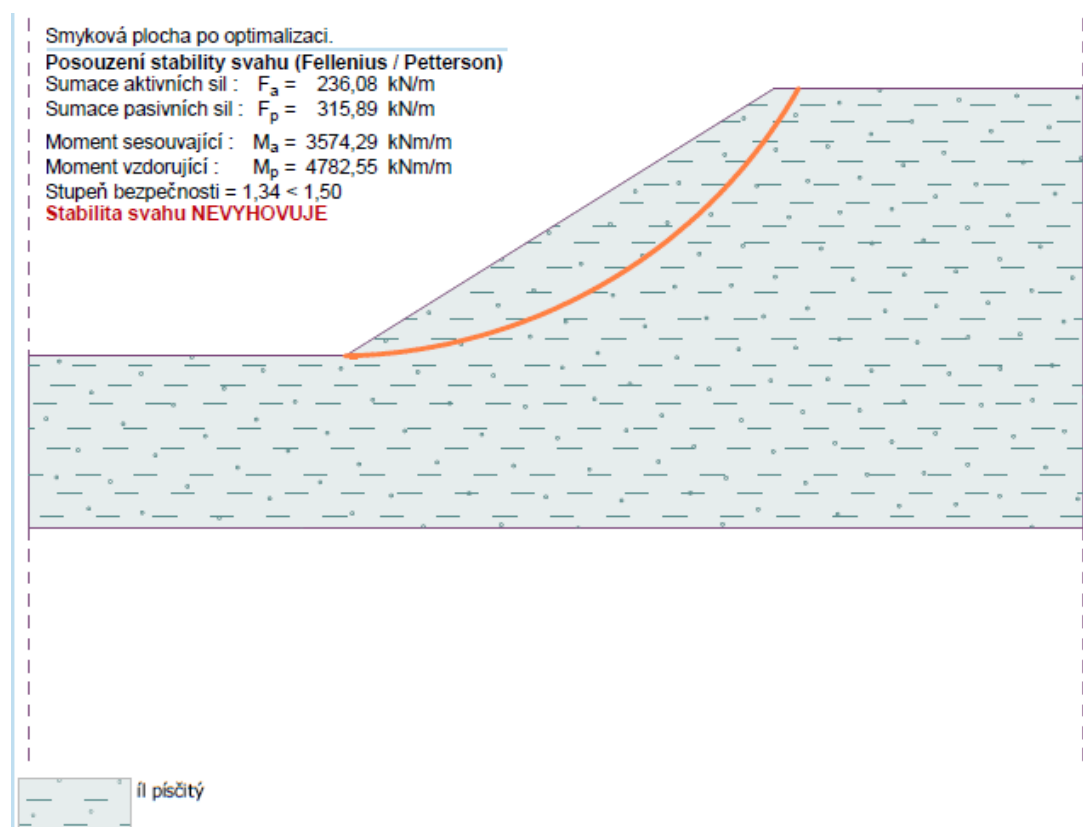
Výsledky (Fáze budování 1)

Výpočet 1

Kruhová smyková plocha

Parametry smykové plochy					
Střed :	x =	8,65 [m]	Úhly :	$\alpha_1 =$	1,35 [°]
	z =	20,14 [m]		$\alpha_2 =$	61,00 [°]
Poloměr :	R =	15,14 [m]			
Smyková plocha po optimalizaci.					

Posouzení stability svahu (Fellenius / Petterson)

Sumace aktivních sil : $F_a = 236,08 \text{ kN/m}$ Sumace pasivních sil : $F_p = 315,89 \text{ kN/m}$ Moment sesouvající : $M_a = 3574,29 \text{ kNm/m}$ Moment vzdorující : $M_p = 4782,55 \text{ kNm/m}$ Stupeň bezpečnosti = $1,34 < 1,50$ **Stabilita svahu NEVYHOVUJE**

Príloha č. 10 – Výstupné dáta z programu GEO 5 – výpočet stupňa stability č. 10

Martin Kultán	Stabilita svahu 1
---------------	----------------------

Výpočet stability svahu

Vstupní data

Projekt

Akce : Stabilita svahu
Část : 1
Vypracoval : Martin Kultán
Datum : 12.3.2018

Nastavení

(zadané pro aktuální úlohu)

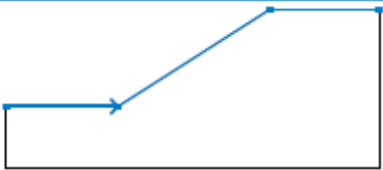
Stabilitní výpočty

Výpočet zemětřesení : Standard


Metodika posouzení : stupně bezpečnosti

Stupně bezpečnosti		
Trvalá návrhová situace		
Stupeň bezpečnosti :	$SF_s =$	1,50 [-]


Rozhraní

Číslo	Umístění rozhraní	Souřadnice bodů rozhraní [m]					
		x	z	x	z	x	z
1		0,00	5,00	9,00	5,00	21,20	12,80
		30,00	12,80				

Parametry zemin - efektivní napjatost

Číslo	Název	Vzorek	φ_{ef} [°]	c_{ef} [kPa]	γ [kN/m ³]
1	íl písčitý		32,80	4,20	21,00

Parametry zemin - vztlak

Číslo	Název	Vzorek	γ_{sat} [kN/m ³]	γ_s [kN/m ³]	n [-]
1	íl písčitý		21,00		

Parametry zemin

íl písčitý

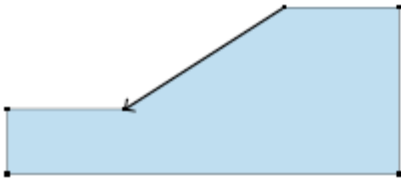

Objemová tíha : $\gamma = 21,00 \text{ kN/m}^3$
 Napjatost : efektivní
 Úhel vnitřního tření : $\varphi_{ef} = 32,80^\circ$
 Soudržnost zeminy : $c_{ef} = 4,20 \text{ kPa}$
 Obj.tíha sat.zeminy : $\gamma_{sat} = 21,00 \text{ kN/m}^3$



Pouze pro nekomerční využití



Přiřazení a plochy

Číslo	Umístění plochy	Souřadnice bodů plochy [m]				Přiřazená zemina
		x	z	x	z	
1		21,20	12,80	9,00	5,00	íl písčtý 
		0,00	5,00	0,00	0,00	
		30,00	0,00	30,00	12,80	

Nastavení výpočtu fáze

Návrhová situace : trvalá

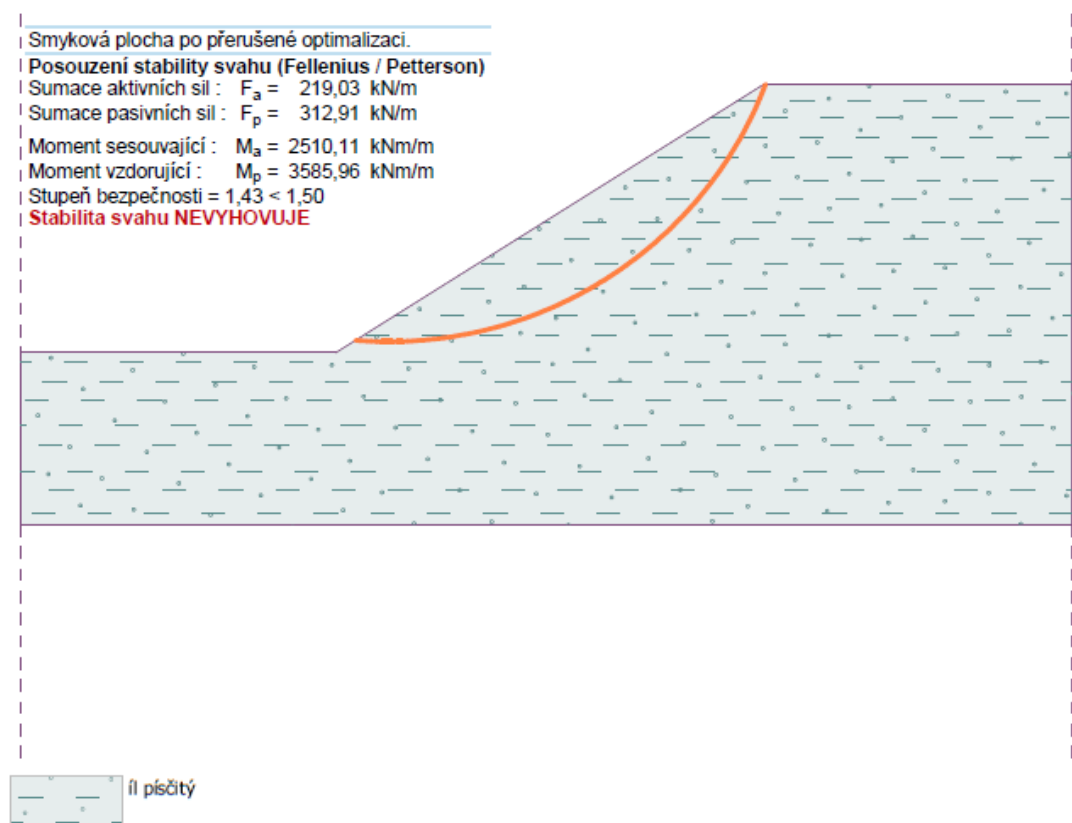
Výsledky (Fáze budování 1)

Výpočet 1

Kruhová smyková plocha

Parametry smykové plochy					
Střed :	x =	10,50 [m]	Úhly :	$\alpha_1 =$	-4,70 [°]
	z =	16,78 [m]		$\alpha_2 =$	69,68 [°]
Poloměr :	R =	11,46 [m]			
Smyková plocha po přerušené optimalizaci.					

Posouzení stability svahu (Fellenius / Petterson)

Sumace aktivních sil : $F_a = 219,03 \text{ kN/m}$ Sumace pasivních sil : $F_p = 312,91 \text{ kN/m}$ Moment sesouvající : $M_a = 2510,11 \text{ kNm/m}$ Moment vzdorující : $M_p = 3585,96 \text{ kNm/m}$ Stupeň bezpečnosti = $1,43 < 1,50$ **Stabilita svahu NEVYHOVUJE**

Príloha č. 11 – Výstupné dáta z programu GEO 5 – výpočet stupňa stability č. 11

Martin Kultán	Stabilita svahu 1
---------------	----------------------

Výpočet stability svahu

Vstupní data

Projekt

Akce : Stabilita svahu
Část : 1
Vypracoval : Martin Kultán
Datum : 12.3.2018

Nastavení

(zadané pro aktuální úlohu)

Stabilitní výpočty

Výpočet zemětřesení : Standard
Metodika posouzení : stupně bezpečnosti

Stupně bezpečnosti		
Trvalá návrhová situace		
Stupeň bezpečnosti :	$SF_s =$	1,50 [-]

Rozhraní

Číslo	Umístění rozhraní	Souřadnice bodů rozhraní [m]					
		x	z	x	z	x	z
1		0,00	5,00	9,00	5,00	21,20	12,80
		30,00	12,80				

Parametry zemín - efektivní napjatost

Číslo	Název	Vzorek	φ_{ef} [°]	c_{ef} [kPa]	γ [kN/m ³]
1	íl písčitý		29,40	3,60	21,00

Parametry zemín - vztlak

Číslo	Název	Vzorek	γ_{sat} [kN/m ³]	γ_s [kN/m ³]	n [-]
1	íl písčitý		21,00		

Parametry zemín

íl písčitý

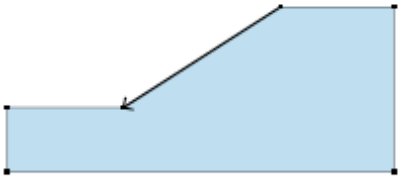

Objemová tíha : $\gamma = 21,00 \text{ kN/m}^3$
Napjatost : efektivní
Úhel vnitřního tření : $\varphi_{ef} = 29,40^\circ$
Soudržnost zeminy : $c_{ef} = 3,60 \text{ kPa}$
Obj.tíha sat.zeminy : $\gamma_{sat} = 21,00 \text{ kN/m}^3$



Pouze pro nekomerční využití



Přiřazení a plochy

Číslo	Umístění plochy	Souřadnice bodů plochy [m]				Přiřazená zemina
		x	z	x	z	
1		21,20	12,80	9,00	5,00	íl písčitý 
		0,00	5,00	0,00	0,00	
		30,00	0,00	30,00	12,80	

Nastavení výpočtu fáze

Návrhová situace : trvalá

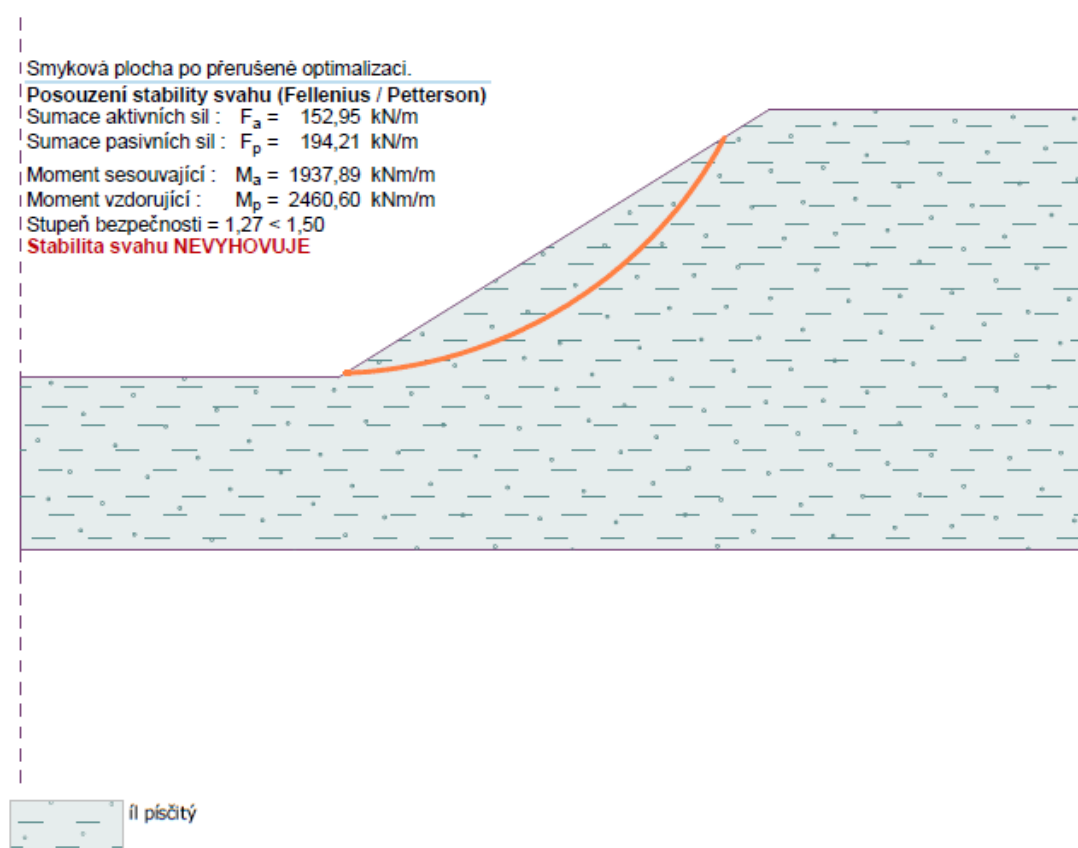
Výsledky (Fáze budování 1)

Výpočet 1

Kruhová smyková plocha

Parametry smykové plochy					
Střed :	x =	8,67 [m]	Úhly :	$\alpha_1 =$	2,42 [°]
	z =	17,79 [m]		$\alpha_2 =$	62,76 [°]
Poloměr :	R =	12,67 [m]			
Smyková plocha po přerušené optimalizaci.					

Posouzení stability svahu (Fellenius / Petterson)

Sumace aktivních sil : $F_a = 152,95 \text{ kN/m}$ Sumace pasivních sil : $F_p = 194,21 \text{ kN/m}$ Moment sesouvající : $M_a = 1937,89 \text{ kNm/m}$ Moment vzdorující : $M_p = 2460,60 \text{ kNm/m}$ Stupeň bezpečnosti = $1,27 < 1,50$ **Stabilita svahu NEVYHOVUJE**

Príloha č. 12 – Výstupné dáta z programu GEO 5 – výpočet stupňa stability č. 12

Martin Kultán	Stabilita svahu 1
---------------	----------------------

Výpočet stability svahu

Vstupní data

Projekt

Akce : Stabilita svahu
Část : 1
Vypracoval : Martin Kultán
Datum : 12.3.2018

Nastavení

(zadané pro aktuální úlohu)

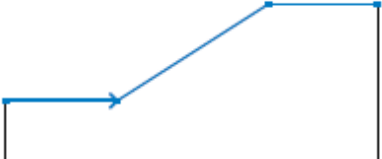
Stabilitní výpočty

Výpočet zemětřesení : Standard

Metodika posouzení : stupně bezpečnosti

Stupně bezpečnosti		
Trvalá návrhová situace		
Stupeň bezpečnosti :	$SF_s =$	1,50 [-]

Rozhraní

Číslo	Umístění rozhraní	Souřadnice bodů rozhraní [m]					
		x	z	x	z	x	z
1		0,00	5,00	9,00	5,00	21,20	12,80
		30,00	12,80				

Parametry zemin - efektivní napjatost

Číslo	Název	Vzorek	φ_{ef} [°]	c_{ef} [kPa]	γ [kN/m³]
1	íl písčitý		32,60	4,30	21,00

Parametry zemin - vztlak

Číslo	Název	Vzorek	γ_{sat} [kN/m³]	γ_s [kN/m³]	n [-]
1	íl písčitý		21,00		

Parametry zemin

íl písčitý

Objemová tíha : $\gamma = 21,00 \text{ kN/m}^3$

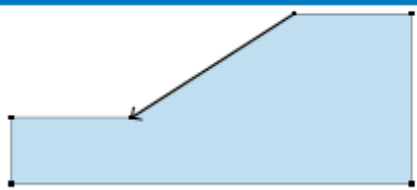

Napjatost : efektivní

Úhel vnitřního tření : $\varphi_{ef} = 32,60^\circ$

Soudržnost zeminy : $c_{ef} = 4,30 \text{ kPa}$

Obj.tíha sat.zeminy : $\gamma_{sat} = 21,00 \text{ kN/m}^3$

Přiřazení a plochy

Číslo	Umístění plochy	Souřadnice bodů plochy [m]				Přiřazená zemina
		x	z	x	z	
1		21,20	12,80	9,00	5,00	íl písčitý 
		0,00	5,00	0,00	0,00	
		30,00	0,00	30,00	12,80	

Nastavení výpočtu fáze

Návrhová situace : trvalá

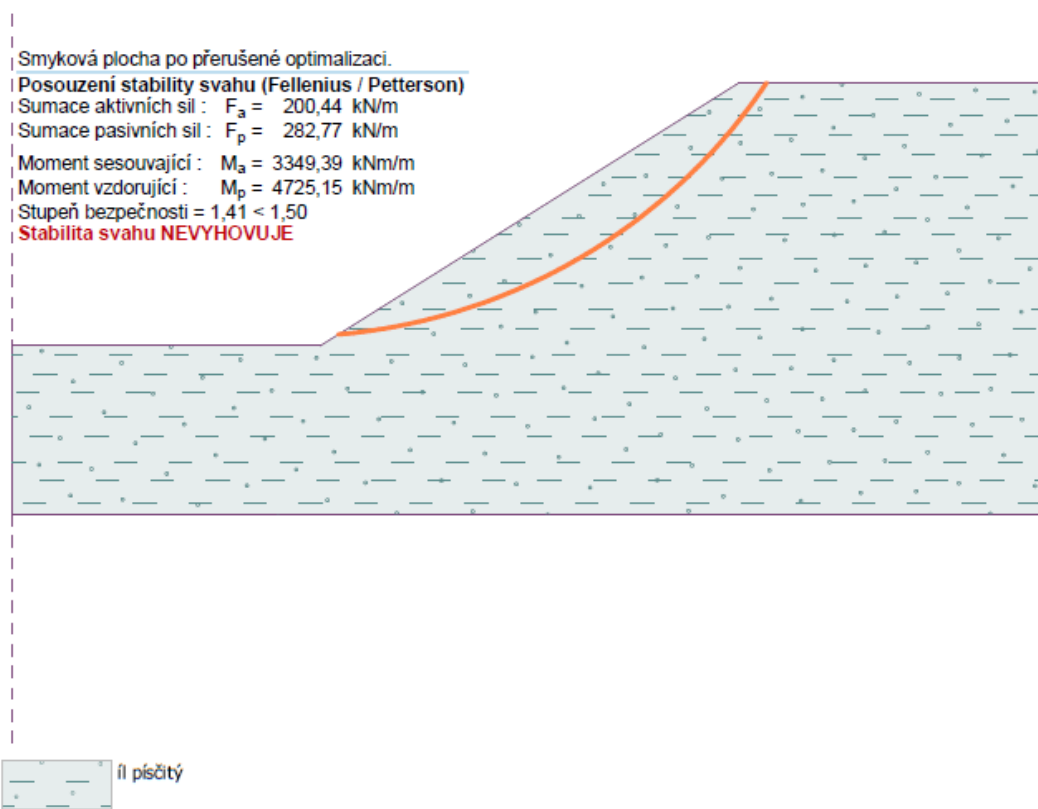
Výsledky (Fáze budování 1)

Výpočet 1

Kruhová smyková plocha

Parametry smykové plochy					
Střed :	x =	8,04 [m]	Úhly :	$\alpha_1 =$	5,10 [°]
	z =	21,98 [m]		$\alpha_2 =$	56,68 [°]
Poloměr :	R =	16,71 [m]			
Smyková plocha po přerušené optimalizaci.					

Posouzení stability svahu (Fellenius / Petterson)

Sumace aktivních sil : $F_a = 200,44 \text{ kN/m}$ Sumace pasivních sil : $F_p = 282,77 \text{ kN/m}$ Moment sesouvající : $M_a = 3349,39 \text{ kNm/m}$ Moment vzdorující : $M_p = 4725,15 \text{ kNm/m}$ Stupeň bezpečnosti = $1,41 < 1,50$ **Stabilita svahu NEVYHOVUJE**

Príloha č. 13 – Výstupné dáta z programu GEO 5 – výpočet stupňa stability č. 13

Martin Kultán

Stabilita svahu
1

Výpočet stability svahu

Vstupní data

Projekt

Akce : Stabilita svahu
Část : 1
Vypracoval : Martin Kultán
Datum : 12.3.2018

Nastavení

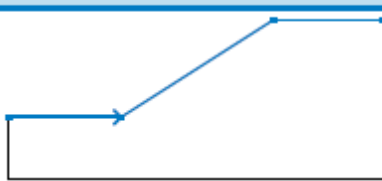
(zadané pro aktuální úlohu)

Stabilitní výpočty

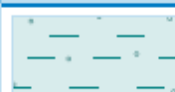
Výpočet zemetřesení : Standard
Metodika posouzení : stupně bezpečnosti

Stupně bezpečnosti		
Trvalá návrhová situace		
Stupeň bezpečnosti :	$SF_s =$	1,50 [-]

Rozhraní

Číslo	Umístění rozhraní	Souřadnice bodů rozhraní [m]					
		x	z	x	z	x	z
1		0,00	5,00	9,00	5,00	21,20	12,80
		30,00	12,80				

Parametry zemín - efektivní napjatost

Číslo	Název	Vzorek	φ_{ef} [°]	c_{ef} [kPa]	γ [kN/m ³]
1	il písčitý		33,20	3,20	21,00

Parametry zemín - vztlak

Číslo	Název	Vzorek	γ_{sat} [kN/m ³]	γ_s [kN/m ³]	n [-]
1	il písčitý		21,00		

Parametry zemín

il písčitý

Objemová tíha : $\gamma = 21,00 \text{ kN/m}^3$
 Napjatost : efektivní
 Úhel vnitřního tření : $\varphi_{ef} = 33,20^\circ$
 Soudržnost zeminy : $c_{ef} = 3,20 \text{ kPa}$
 Obj.tíha sat.zeminy : $\gamma_{sat} = 21,00 \text{ kN/m}^3$



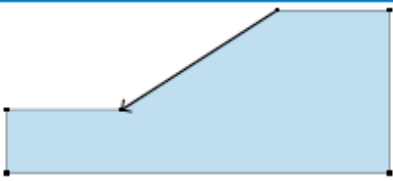

Pouze pro nekomerční využití



1

Martin Kultán	Stabilita svahu 1
---------------	----------------------

Přiřazení a plochy

Číslo	Umístění plochy	Souřadnice bodů plochy [m]				Přiřazená zemina
		x	z	x	z	
1		21,20	12,80	9,00	5,00	íl písčtý 
		0,00	5,00	0,00	0,00	
		30,00	0,00	30,00	12,80	

Nastavení výpočtu fáze

Návrhová situace : trvalá

Výsledky (Fáze budování 1)

Výpočet 1

Kruhová smyková plocha

Parametry smykové plochy					
Střed :	x =	8,04 [m]	Úhly :	$\alpha_1 =$	5,10 [°]
	z =	21,98 [m]		$\alpha_2 =$	56,68 [°]
Poloměr :	R =	16,71 [m]			
Smyková plocha po přerušené optimalizaci.					

Posouzení stability svahu (Fellenius / Petterson)

Sumace aktivních sil : $F_a = 200,44$ kN/m

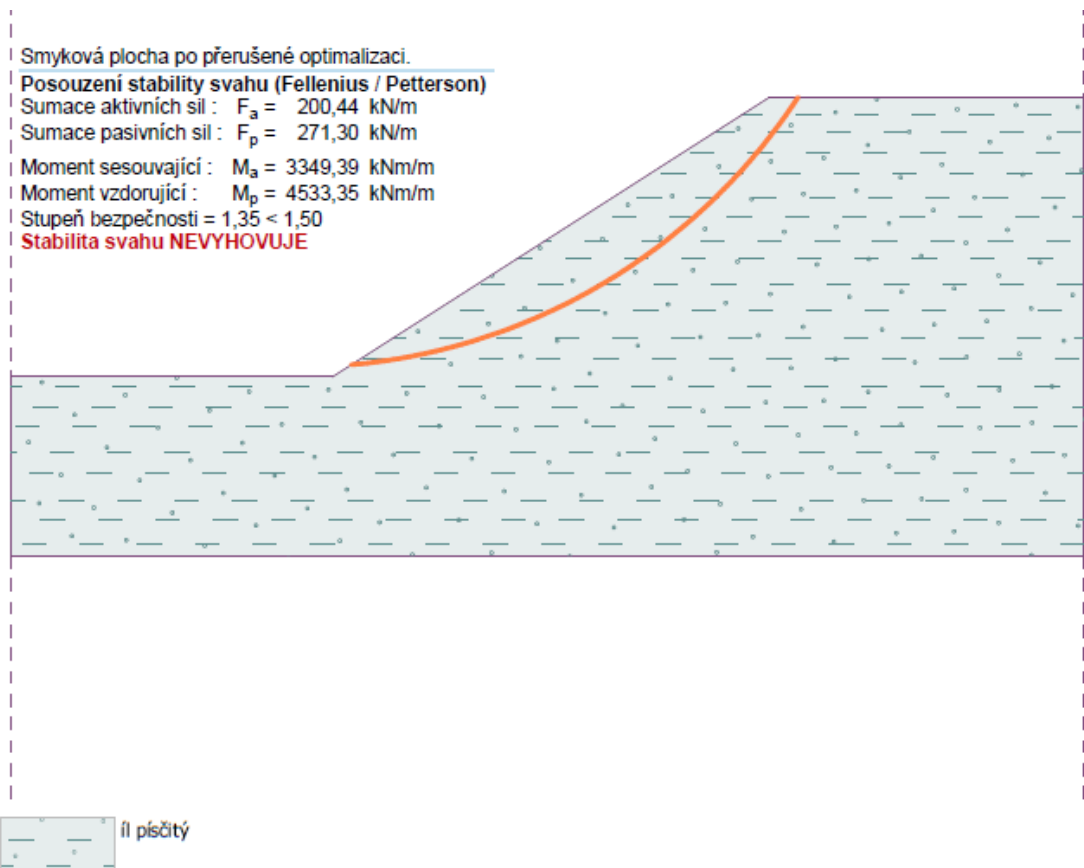
Sumace pasivních sil : $F_p = 271,30$ kN/m

Moment sesouvající : $M_a = 3349,39$ kNm/m

Moment vzdorující : $M_p = 4533,35$ kNm/m

Stupeň bezpečnosti = $1,35 < 1,50$

Stabilita svahu NEVYHOVUJE



Príloha č. 14 – Výstupné dáta z programu GEO 5 – výpočet stupňa stability č. 14

Martin Kultán

Stabilita svahu
1

Výpočet stability svahu

Vstupní data

Projekt

Akce : Stabilita svahu
Část : 1
Vypracoval : Martin Kultán
Datum : 12.3.2018

Nastavení

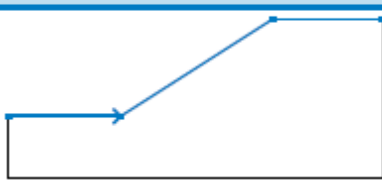
(zadané pro aktuální úlohu)

Stabilitní výpočty

Výpočet zemetřesení : Standard
Metodika posouzení : stupně bezpečnosti

Stupně bezpečnosti			
Trvalá návrhová situace			
Stupeň bezpečnosti :	$SF_s =$	1,50	[-]

Rozhraní

Číslo	Umístění rozhraní	Souřadnice bodů rozhraní [m]					
		x	z	x	z	x	z
1		0,00	5,00	9,00	5,00	21,20	12,80
		30,00	12,80				

Parametry zemin - efektivní napjatost

Číslo	Název	Vzorek	φ_{ef} [°]	c_{ef} [kPa]	γ [kN/m³]
1	íl písčitý		32,40	4,40	21,00

Parametry zemin - vztlak

Číslo	Název	Vzorek	γ_{sat} [kN/m³]	γ_a [kN/m³]	n [-]
1	íl písčitý		21,00		

Parametry zemin

íl písčitý

Objemová tíha : $\gamma = 21,00 \text{ kN/m}^3$
 Napjatost : efektivní
 Úhel vnitřního tření : $\varphi_{ef} = 32,40^\circ$
 Soudržnost zeminy : $c_{ef} = 4,40 \text{ kPa}$
 Obj.tíha sat.zeminy : $\gamma_{sat} = 21,00 \text{ kN/m}^3$

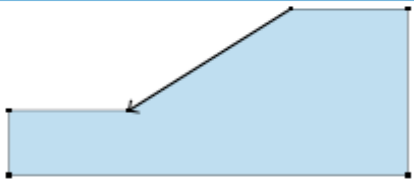



Pouze pro nekomerční využití



1

Přiřazení a plochy

Číslo	Umístění plochy	Souřadnice bodů plochy [m]				Přiřazená zemina
		x	z	x	z	
1		21,20	12,80	9,00	5,00	íl písčitý 
		0,00	5,00	0,00	0,00	
		30,00	0,00	30,00	12,80	

Nastavení výpočtu fáze

Návrhová situace : trvalá

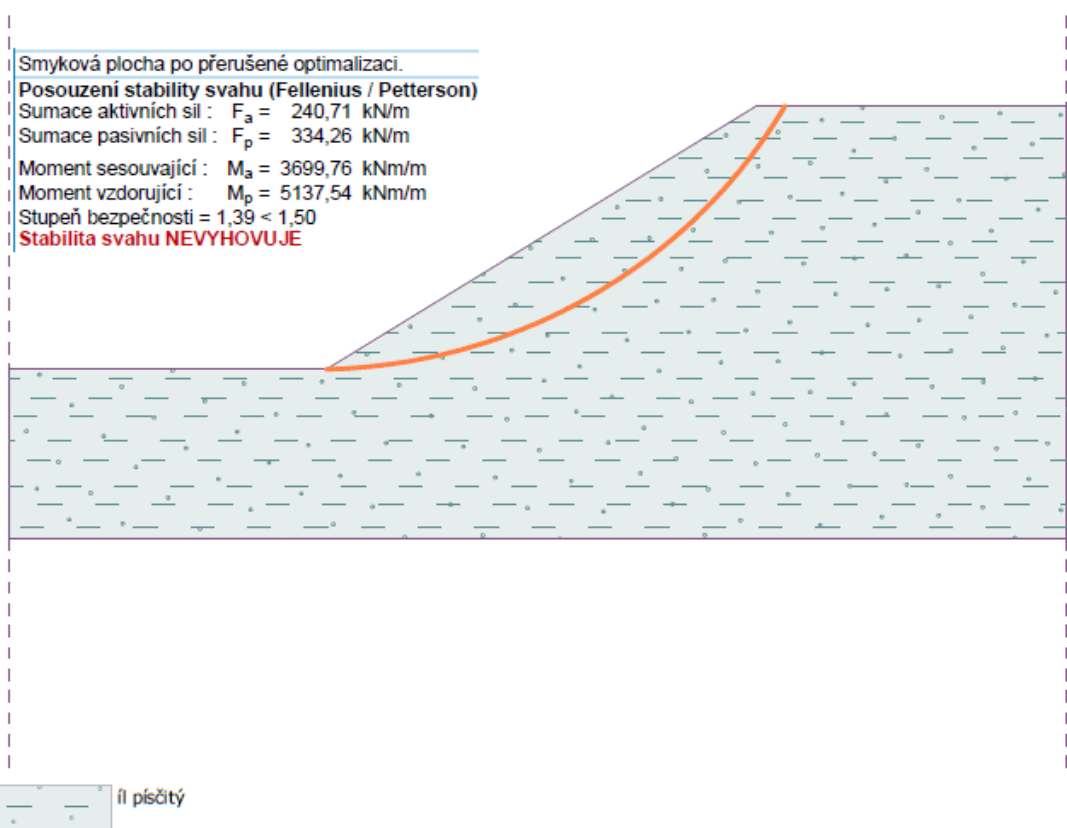
Výsledky (Fáze budování 1)

Výpočet 1

Kruhová smyková plocha

Parametry smykové plochy					
Střed :	x =	8,63 [m]	Úhly :	$\alpha_1 =$	1,41 [°]
	z =	20,37 [m]		$\alpha_2 =$	60,49 [°]
Poloměr :	R =	15,37 [m]			
Smyková plocha po přerušené optimalizaci.					

Posouzení stability svahu (Fellenius / Petterson)

Sumace aktivních sil : $F_a = 240,71$ kN/mSumace pasivních sil : $F_p = 334,26$ kN/mMoment sesouvající : $M_a = 3699,76$ kNm/mMoment vzdorující : $M_p = 5137,54$ kNm/mStupeň bezpečnosti = $1,39 < 1,50$ **Stabilita svahu NEVYHOVUJE**

Príloha č. 15 – Výstupné dáta z programu GEO 5 – výpočet stupňa stability č. 15

Martin Kultán	Stabilita svahu 1
---------------	----------------------

Výpočet stability svahu

Vstupní data

Projekt

Akce : Stabilita svahu
Část : 1
Vypracoval : Martin Kultán
Datum : 12.3.2018

Nastavení

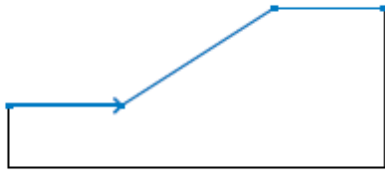
(zadané pro aktuální úlohu)

Stabilitní výpočty


Výpočet zemětřesení : Standard
Metodika posouzení : stupně bezpečnosti

Stupně bezpečnosti			
Trvalá návrhová situace			
Stupeň bezpečnosti :	$SF_s =$	1,50	[-]

Rozhraní

Číslo	Umístění rozhraní	Souřadnice bodů rozhraní [m]					
		x	z	x	z	x	z
1		0,00	5,00	9,00	5,00	21,20	12,80
		30,00	12,80				

Parametry zemin - efektivní napjatost

Číslo	Název	Vzorek	φ_{ef} [°]	c_{ef} [kPa]	γ [kN/m ³]
1	íl písčitý		30,80	3,00	21,00

Parametry zemin - vztlak

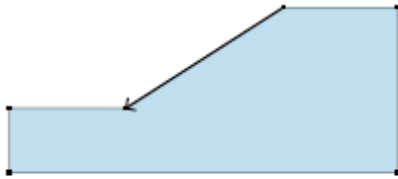

Číslo	Název	Vzorek	γ_{sat} [kN/m ³]	γ_s [kN/m ³]	n [-]
1	íl písčitý		21,00		

Parametry zemin

íl písčitý

Objemová tíha : $\gamma = 21,00 \text{ kN/m}^3$
 Napjatost : efektivní
 Úhel vnitřního tření : $\varphi_{ef} = 30,80^\circ$
 Soudržnost zeminy : $c_{ef} = 3,00 \text{ kPa}$
 Obj.tíha sat.zeminy : $\gamma_{sat} = 21,00 \text{ kN/m}^3$

Přiřazení a plochy

Číslo	Umístění plochy	Souřadnice bodů plochy [m]				Přiřazená zemina
		x	z	x	z	
1		21,20	12,80	9,00	5,00	íl písčtý 
		0,00	5,00	0,00	0,00	
		30,00	0,00	30,00	12,80	

Nastavení výpočtu fáze

Návrhová situace : trvalá

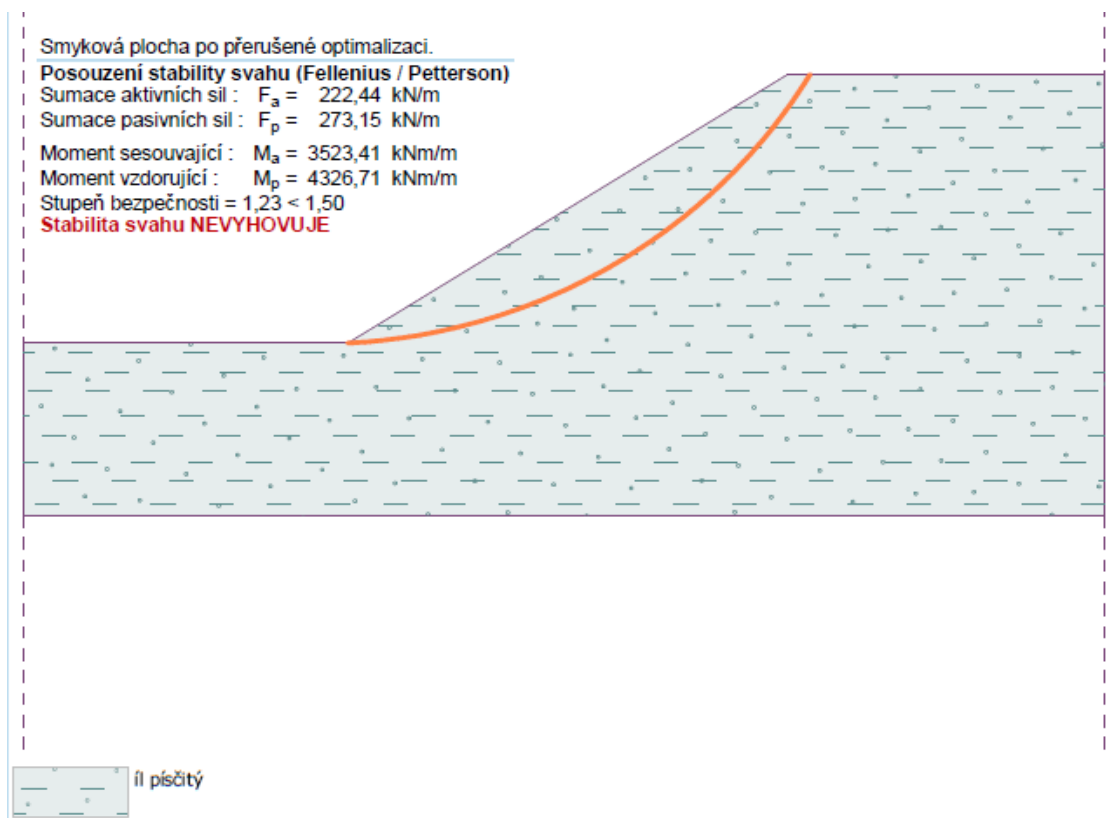
Výsledky (Fáze budování 1)

Výpočet 1

Kruhová smyková plocha

Parametry smykové plochy					
Střed :	x =	8,16 [m]	Úhly :	$\alpha_1 =$	3,05 [°]
	z =	20,82 [m]		$\alpha_2 =$	59,58 [°]
Poloměr :	R =	15,84 [m]			
Smyková plocha po přerušené optimalizaci.					

Posouzení stability svahu (Fellenius / Petterson)

Sumace aktivních sil : $F_a = 222,44$ kN/mSumace pasivních sil : $F_p = 273,15$ kN/mMoment sesouvající : $M_a = 3523,41$ kNm/mMoment vzdorující : $M_p = 4326,71$ kNm/mStupeň bezpečnosti = $1,23 < 1,50$ **Stabilita svahu NEVYHOVUJE**

Príloha č. 16 – Výstupné dáta z programu GEO 5 – výpočet stupňa stability č. 16

Martin Kultán	Stabilita svahu 1
---------------	----------------------

Výpočet stability svahu

Vstupní data

Projekt

Akce : Stabilita svahu
Část : 1
Vypracoval : Martin Kultán
Datum : 12.3.2018

Nastavení

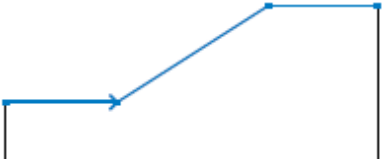
(zadané pro aktuální úlohu)

Stabilitní výpočty

Výpočet zemětřesení : Standard
Metodika posouzení : stupně bezpečnosti

Stupně bezpečnosti		
Trvalá návrhová situace		
Stupeň bezpečnosti :	$SF_s =$	1,50 [-]


Rozhraní

Číslo	Umístění rozhraní	Souřadnice bodů rozhraní [m]					
		x	z	x	z	x	z
1		0,00	5,00	9,00	5,00	21,20	12,80
		30,00	12,80				

Parametry zemin - efektivní napjatost

Číslo	Název	Vzorek	φ_{ef} [°]	c_{ef} [kPa]	γ [kN/m ³]
1	íl písčitý		33,50	4,50	21,00

Parametry zemin - vztlak

Číslo	Název	Vzorek	γ_{sat} [kN/m ³]	γ_s [kN/m ³]	n [-]
1	íl písčitý		21,00		

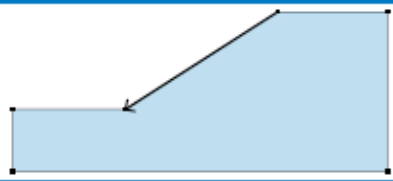

Parametry zemin

íl písčitý

Objemová tíha : $\gamma = 21,00 \text{ kN/m}^3$
Napjatost : efektivní
Úhel vnitřního tření : $\varphi_{ef} = 33,50^\circ$
Soudržnost zeminy : $c_{ef} = 4,50 \text{ kPa}$
Obj.tíha sat.zeminy : $\gamma_{sat} = 21,00 \text{ kN/m}^3$

!	Pouze pro nekomerční využití	!
		1

Přiřazení a plochy

Číslo	Umístění plochy	Souřadnice bodů plochy [m]				Přiřazená zemina
		x	z	x	z	
1		21,20	12,80	9,00	5,00	íl písčtý 
		0,00	5,00	0,00	0,00	
		30,00	0,00	30,00	12,80	

Nastavení výpočtu fáze

Návrhová situace : trvalá

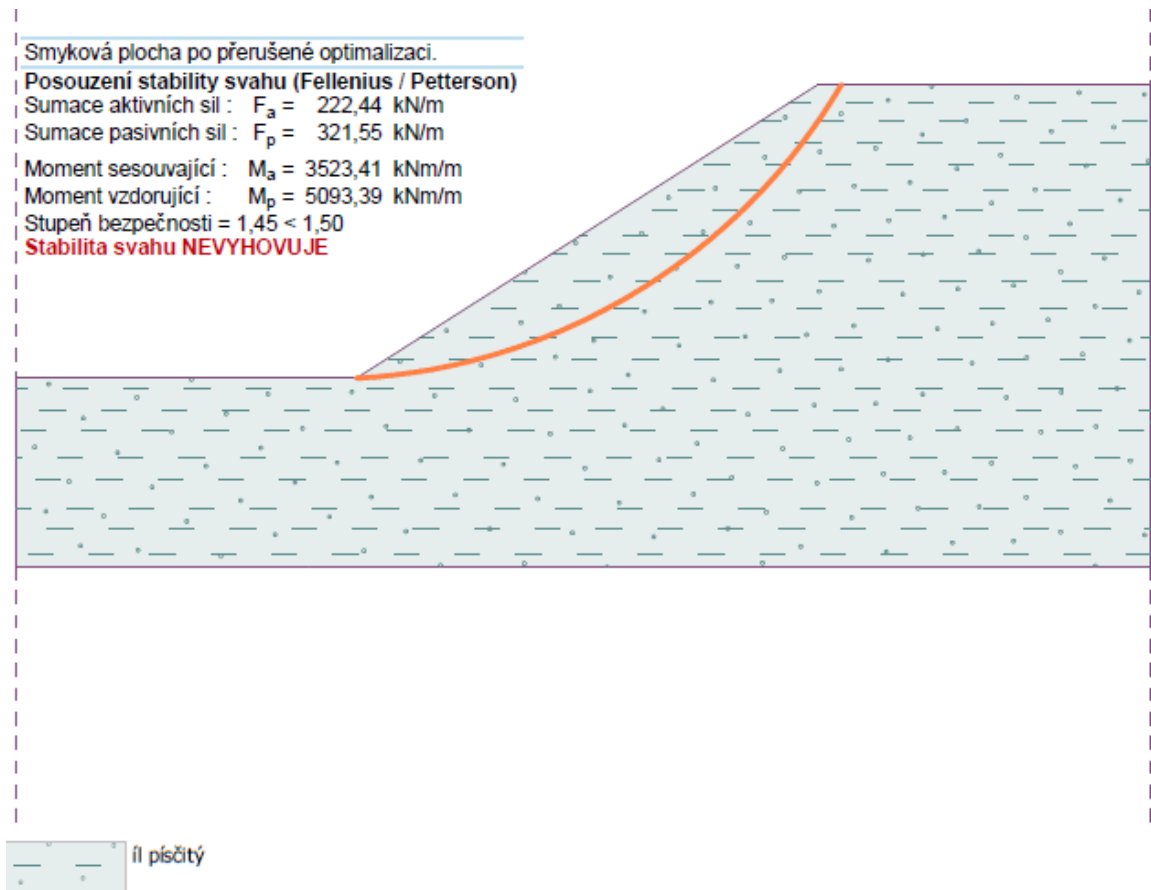
Výsledky (Fáze budování 1)

Výpočet 1

Kruhová smyková plocha

Parametry smykové plochy					
Střed :	x =	8,16 [m]	Úhly :	$\alpha_1 =$	3,05 [°]
	z =	20,82 [m]		$\alpha_2 =$	59,58 [°]
Poloměr :	R =	15,84 [m]			
Smyková plocha po přerušené optimalizaci.					

Posouzení stability svahu (Fellenius / Petterson)

Sumace aktivních sil : $F_a = 222,44$ kN/mSumace pasivních sil : $F_p = 321,55$ kN/mMoment sesouvající : $M_a = 3523,41$ kNm/mMoment vzdorující : $M_p = 5093,39$ kNm/mStupeň bezpečnosti = $1,45 < 1,50$ **Stabilita svahu NEVYHOVUJE**

Príloha č. 17 – Výstupné dáta z programu GEO 5 – výpočet stupňa stability č. 17

Martin Kultán

Stabilita svahu
1

Výpočet stability svahu

Vstupní data

Projekt

Akce : Stabilita svahu
Část : 1
Vypracoval : Martin Kultán
Datum : 12.3.2018

Nastavení

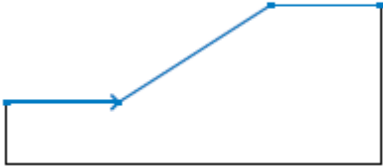
(zadané pro aktuální úlohu)

Stabilitní výpočty


Výpočet zemětřesení : Standard
Metodika posouzení : stupně bezpečnosti

Stupně bezpečnosti		
Trvalá návrhová situace		
Stupeň bezpečnosti :	$SF_s =$	1,50 [-]


Rozhraní

Číslo	Umístění rozhraní	Souřadnice bodů rozhraní [m]					
		x	z	x	z	x	z
1		0,00	5,00	9,00	5,00	21,20	12,80
		30,00	12,80				

Parametry zemin - efektivní napjatost

Číslo	Název	Vzorek	φ_{ef} [°]	c_{ef} [kPa]	γ [kN/m ³]
1	íl písčitý		34,60	4,80	21,00

Parametry zemin - vztlak

Číslo	Název	Vzorek	γ_{sat} [kN/m ³]	γ_s [kN/m ³]	n [-]
1	íl písčitý		21,00		

Parametry zemin

íl písčitý

Objemová tíha : $\gamma = 21,00 \text{ kN/m}^3$
 Napjatost : efektivní
 Úhel vnitřního tření : $\varphi_{ef} = 34,60^\circ$
 Soudržnost zeminy : $c_{ef} = 4,80 \text{ kPa}$
 Obj.tíha sat.zeminy : $\gamma_{sat} = 21,00 \text{ kN/m}^3$

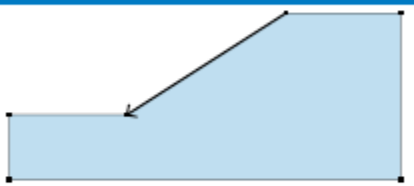


Pouze pro nekomerční využití



1

Přiřazení a plochy

Číslo	Umístění plochy	Souřadnice bodů plochy [m]				Přiřazená zemina
		x	z	x	z	
1		21,20	12,80	9,00	5,00	íl písčitý
		0,00	5,00	0,00	0,00	
		30,00	0,00	30,00	12,80	

Nastavení výpočtu fáze

Návrhová situace : trvalá

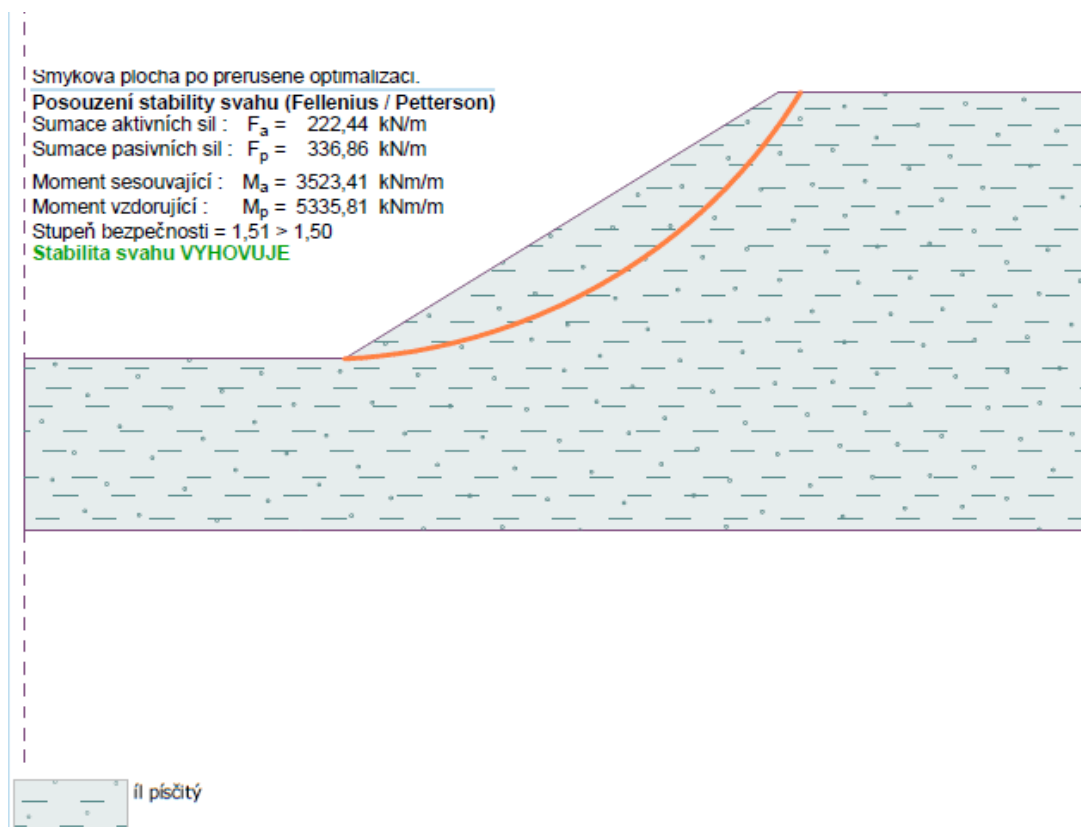
Výsledky (Fáze budování 1)

Výpočet 1

Kruhová smyková plocha

Parametry smykové plochy					
Střed :	x =	8,16 [m]	Úhly :	$\alpha_1 =$	3,05 [°]
	z =	20,82 [m]		$\alpha_2 =$	59,58 [°]
Poloměr :	R =	15,84 [m]			
Smyková plocha po přerušené optimalizaci.					

Posouzení stability svahu (Fellenius / Petterson)

Sumace aktivních sil : $F_a = 222,44$ kN/mSumace pasivních sil : $F_p = 336,86$ kN/mMoment sesouvající : $M_a = 3523,41$ kNm/mMoment vzdorující : $M_p = 5335,81$ kNm/mStupeň bezpečnosti = $1,51 > 1,50$ **Stabilita svahu VYHOVUJE**

Príloha č. 18 – Výstupné dáta z programu GEO 5 – výpočet stupňa stability č. 18

Martin Kultán	Stabilita svahu 1
---------------	----------------------

Výpočet stability svahu

Vstupní data

Projekt

Akce : Stabilita svahu
Část : 1
Vypracoval : Martin Kultán
Datum : 12.3.2018

Nastavení

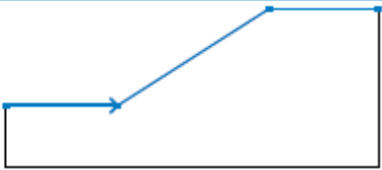
(zadané pro aktuální úlohu)

Stabilitní výpočty

Výpočet zemětřesení : Standard
Metodika posouzení : stupně bezpečnosti

Stupně bezpečnosti		
Trvalá návrhová situace		
Stupeň bezpečnosti :	$SF_s =$	1,50 [-]


Rozhraní

Číslo	Umístění rozhraní	Souřadnice bodů rozhraní [m]					
		x	z	x	z	x	z
1		0,00	5,00	9,00	5,00	21,20	12,80
		30,00	12,80				

Parametry zemin - efektivní napjatost

Číslo	Název	Vzorek	φ_{ef} [°]	c_{ef} [kPa]	γ [kN/m ³]
1	íl písčitý		31,60	5,30	21,00

Parametry zemin - vztlak

Číslo	Název	Vzorek	γ_{sat} [kN/m ³]	γ_s [kN/m ³]	n [-]
1	íl písčitý		21,00		

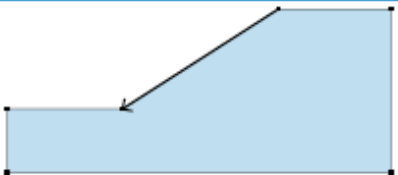

Parametry zemin

íl písčitý

Objemová tíha : $\gamma = 21,00 \text{ kN/m}^3$
Napjatost : efektivní
Úhel vnitřního tření : $\varphi_{ef} = 31,60^\circ$
Soudržnost zeminy : $c_{ef} = 5,30 \text{ kPa}$
Obj.tíha sat.zeminy : $\gamma_{sat} = 21,00 \text{ kN/m}^3$

! Pouze pro nekomerční využití !

Přiřazení a plochy

Číslo	Umístění plochy	Souřadnice bodů plochy [m]				Přiřazená zemina
		x	z	x	z	
1		21,20	12,80	9,00	5,00	íl písčitý 
		0,00	5,00	0,00	0,00	
		30,00	0,00	30,00	12,80	

Nastavení výpočtu fáze

Návrhová situace : trvalá

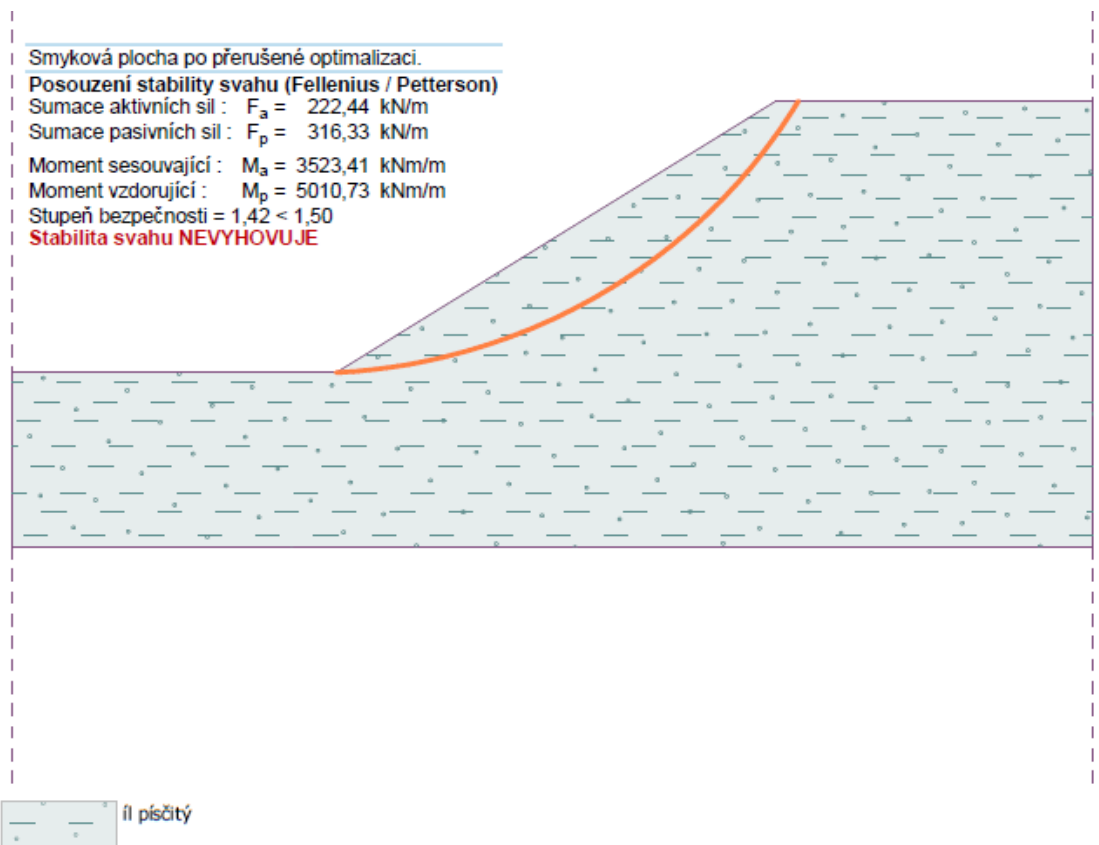
Výsledky (Fáze budování 1)

Výpočet 1

Kruhová smyková plocha

Parametry smykové plochy					
Střed :	x =	8,16 [m]	Úhly :	$\alpha_1 =$	3,05 [°]
	z =	20,82 [m]		$\alpha_2 =$	59,58 [°]
Poloměr :	R =	15,84 [m]			
Smyková plocha po přerušené optimalizaci.					

Posouzení stability svahu (Fellenius / Petterson)

Sumace aktivních sil : $F_a = 222,44$ kN/mSumace pasivních sil : $F_p = 316,33$ kN/mMoment sesouvající : $M_a = 3523,41$ kNm/mMoment vzdorující : $M_p = 5010,73$ kNm/mStupeň bezpečnosti = $1,42 < 1,50$ **Stabilita svahu NEVYHOVUJE**

Príloha č. 19 – Výstupné dáta z programu GEO 5 – výpočet stupňa stability č. 19

Martin Kultán	Stabilita svahu 1
---------------	----------------------

Výpočet stability svahu

Vstupní data

Projekt

Akce : Stabilita svahu
Část : 1
Vypracoval : Martin Kultán
Datum : 12.3.2018

Nastavení

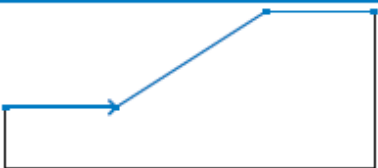
(zadané pro aktuální úlohu)

Stabilitní výpočty


Výpočet zemětřesení : Standard
Metodika posouzení : stupně bezpečnosti

Stupně bezpečnosti		
Trvalá návrhová situace		
Stupeň bezpečnosti :	$SF_s =$	1,50 [-]


Rozhraní

Číslo	Umístění rozhraní	Souřadnice bodů rozhraní [m]					
		x	z	x	z	x	z
1		0,00	5,00	9,00	5,00	21,20	12,80
		30,00	12,80				

Parametry zemin - efektivní napjatost

Číslo	Název	Vzorek	φ_{ef} [°]	c_{ef} [kPa]	γ [kN/m ³]
1	íl písčitý		31,90	3,90	21,00

Parametry zemin - vztlak

Číslo	Název	Vzorek	γ_{sat} [kN/m ³]	γ_s [kN/m ³]	n [-]
1	íl písčitý		21,00		

Parametry zemin

íl písčitý

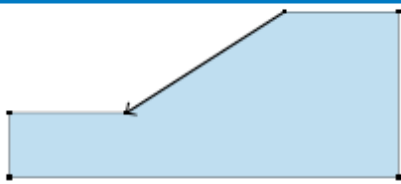

Objemová tíha : $\gamma = 21,00 \text{ kN/m}^3$
 Napjatost : efektivní
 Úhel vnitřního tření : $\varphi_{ef} = 31,90^\circ$
 Soudržnost zeminy : $c_{ef} = 3,90 \text{ kPa}$
 Obj.tíha sat.zeminy : $\gamma_{sat} = 21,00 \text{ kN/m}^3$



Pouze pro nekomerční využití



Přiřazení a plochy

Číslo	Umístění plochy	Souřadnice bodů plochy [m]				Přiřazená zemina
		x	z	x	z	
1		21,20	12,80	9,00	5,00	íl písčtý 
		0,00	5,00	0,00	0,00	
		30,00	0,00	30,00	12,80	

Nastavení výpočtu fáze

Návrhová situace : trvalá

Výsledky (Fáze budování 1)

Výpočet 1

Kruhová smyková plocha

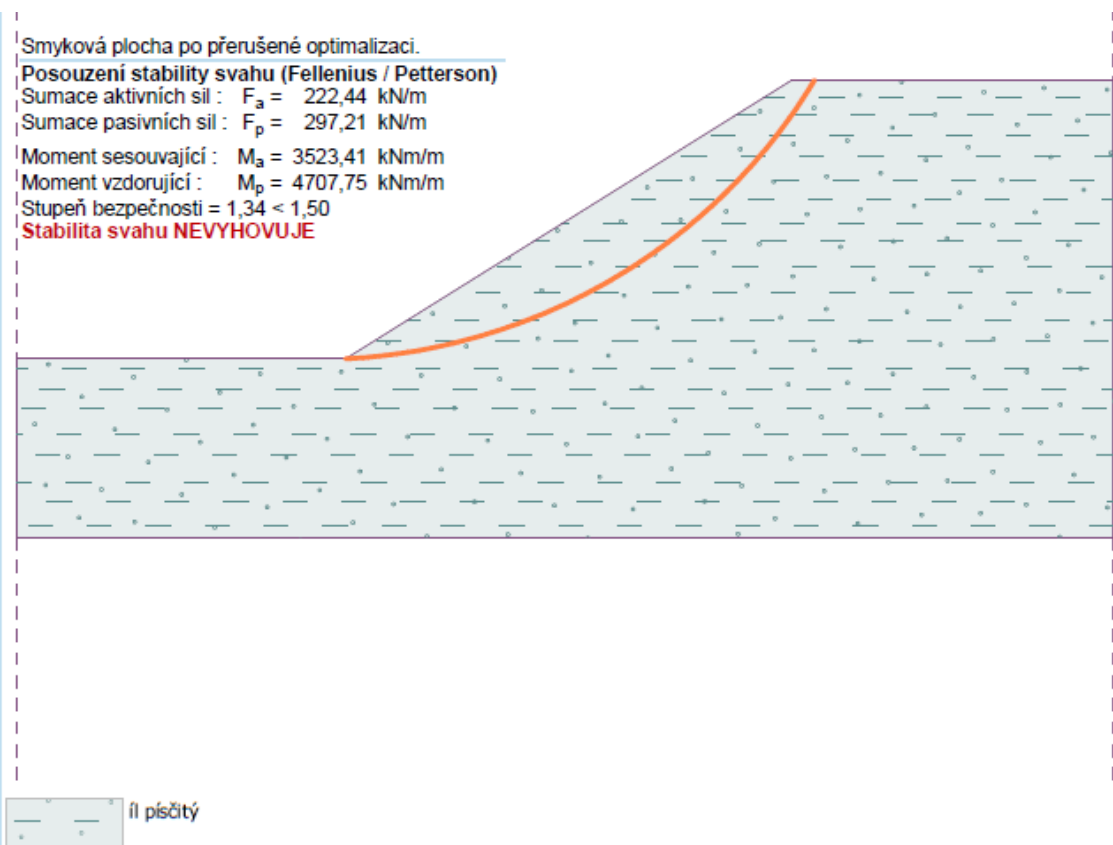
Parametry smykové plochy					
Střed :	x =	8,16 [m]	Úhly :	$\alpha_1 =$	3,05 [°]
	z =	20,82 [m]		$\alpha_2 =$	59,58 [°]
Poloměr :	R =	15,84 [m]			
Smyková plocha po přerušené optimalizaci.					

Posouzení stability svahu (Fellenius / Petterson)

Sumace aktivních sil : $F_a = 222,44$ kN/mSumace pasivních sil : $F_p = 297,21$ kN/mMoment sesouvající : $M_a = 3523,41$ kNm/mMoment vzdorující : $M_p = 4707,75$ kNm/mStupeň bezpečnosti = $1,34 < 1,50$ **Stabilita svahu NEVYHOVUJE**

Smyková plocha po přerušené optimalizaci.

Posouzení stability svahu (Fellenius / Petterson)

Sumace aktivních sil : $F_a = 222,44$ kN/mSumace pasivních sil : $F_p = 297,21$ kN/mMoment sesouvající : $M_a = 3523,41$ kNm/mMoment vzdorující : $M_p = 4707,75$ kNm/mStupeň bezpečnosti = $1,34 < 1,50$ **Stabilita svahu NEVYHOVUJE**

Príloha č. 20 – Výstupné dáta z programu GEO 5 – výpočet stupňa stability č. 20

Martin Kultán	Stabilita svahu 1
---------------	----------------------

Výpočet stability svahu

Vstupní data

Projekt

Akce : Stabilita svahu
Část : 1
Vypracoval : Martin Kultán
Datum : 12.3.2018

Nastavení

(zadané pro aktuální úlohu)

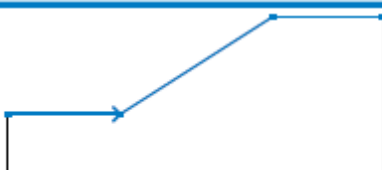
Stabilitní výpočty

Výpočet zemětřesení : Standard

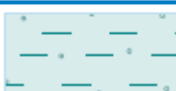
Metodika posouzení : stupně bezpečnosti

Stupně bezpečnosti		
Trvalá návrhová situace		
Stupeň bezpečnosti :	$SF_s =$	1,50 [-]

Rozhraní

Číslo	Umístění rozhraní	Souřadnice bodů rozhraní [m]					
		x	z	x	z	x	z
1		0,00	5,00	9,00	5,00	21,20	12,80
		30,00	12,80				

Parametry zemin - efektivní napjatost

Číslo	Název	Vzorek	φ_{ef} [°]	c_{ef} [kPa]	γ [kN/m³]
1	íl písčitý		33,90	4,60	21,00

Parametry zemin - vztlak

Číslo	Název	Vzorek	γ_{sat} [kN/m³]	γ_s [kN/m³]	n [-]
1	íl písčitý		21,00		

Parametry zemin

íl písčitý

Objemová tíha : $\gamma = 21,00 \text{ kN/m}^3$
 Napjatost : efektivní
 Úhel vnitřního tření : $\varphi_{ef} = 33,90^\circ$
 Soudržnost zeminy : $c_{ef} = 4,60 \text{ kPa}$
 Obj.tíha sat.zeminy : $\gamma_{sat} = 21,00 \text{ kN/m}^3$

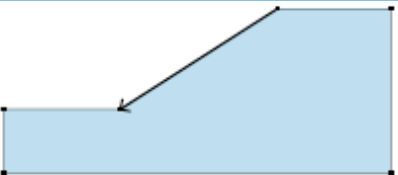



Pouze pro nekomerční využití



Martin Kultán	Stabilita svahu 1
---------------	----------------------

Přirazení a plochy

Číslo	Umístění plochy	Souřadnice bodů plochy [m]				Přirazená zemina
		x	z	x	z	
1		21,20	12,80	9,00	5,00	íl písčtý 
		0,00	5,00	0,00	0,00	
		30,00	0,00	30,00	12,80	

Nastavení výpočtu fáze

Návrhová situace : trvalá

Výsledky (Fáze budování 1)

Výpočet 1

Kruhová smyková plocha

Parametry smykové plochy					
Střed :	x =	8,16 [m]	Úhly :	$\alpha_1 =$	3,05 [°]
	z =	20,82 [m]		$\alpha_2 =$	59,58 [°]
Poloměr :	R =	15,84 [m]			
Smyková plocha po přerušené optimalizaci.					

Posouzení stability svahu (Fellenius / Petterson)

Sumace aktivních sil : $F_a = 222,44$ kN/m

Sumace pasivních sil : $F_p = 326,94$ kN/m

Moment sesouvající : $M_a = 3523,41$ kNm/m

Moment vzdorující : $M_p = 5178,79$ kNm/m

Stupeň bezpečnosti = $1,47 < 1,50$

Stabilita svahu NEVYHOVUJE

